

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

*PROYECTO FIN DE CARRERA*

***Optimización en el diseño de una  
válvula de aislamiento de explosión***

Tutor. Dr. D. Juan Carlos García Prada

Autor: Francisco Uña Hernández



## ***AGRADECIMIENTOS***

Quería aprovechar la oportunidad que me brinda escribir estas líneas para agradecer, la aportación de diferentes maneras que gran cantidad de personas me han ofrecido durante esta etapa de mi vida que termina con este proyecto final.

En primer lugar a mis padres, sin su insistencia y apoyo no creo que hubiera podido terminar la dichosa “superior”.

En segundo lugar a mi tutor D. Juan Carlos García Prada que de nuevo me ha hecho un hueco en su apretada agenda y a mi compañero en Adix ingeniería, Ignacio, de quien sigo aprendiendo cada día.

Y en tercer lugar, aunque podría ser el primero, a mi novia Lidia, por demostrarme tanta confianza, a los vaquillas, por esos fines de semana tan necesarios y por último y más importante a mi hermana Rita, sin ella todo esto no hubiera sido posible.



# TABLA DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO CERO: OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>9</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO UNO: ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Introducción ATEX .....</b>	<b>13</b>
1.1 Definiciones .....	15
1.2 Clasificación de zonas con riesgo de explosión por polvo combustible. ....	19
1.2.1 Consideraciones previas .....	19
1.2.2 Procedimiento para la clasificación de zonas de atmósferas explosivas por polvo ...	19
1.3 Clasificación de zonas con riesgo de explosión por gas combustible.....	20
1.4 Identificación de Fuentes de escape .....	21
1.5 Clasificación por Zonas .....	23
1.6 Fuentes de ignición .....	25
1.7 Marcado de equipos ATEX .....	27
1.7.1 Modos de protección .....	29
1.8 Medidas de Prevención y Protección de Explosiones .....	31
1.8.1 Medidas organizativas de prevención .....	31
1.8.2 Medidas para reducir la atmósfera explosiva .....	31
1.8.3 Medidas para evitar fuentes de ignición .....	33
1.8.4 Medidas de protección.....	39
<b>2. Válvulas de aislamiento .....</b>	<b>44</b>
2.1 Válvula de aislamiento de explosiones Sistag .....	44
2.2 Aislamiento de explosiones con Ventex E/D/C .....	45
2.3 Aislamiento de explosiones con Ventex P activada .....	47
2.4 Válvula de aislamiento VEX .....	49
2.4.1 Descripción.....	49
2.4.2 Operación.....	50
2.4.3 Instrucciones de montaje y mantenimiento.....	52
2.4.4 Planos.....	53
2.4.5 Fotografías .....	54
<b>CAPÍTULO DOS: METODOLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN DE LA VÁLVULA DE AISLAMIENTO VEX .....</b>	<b>55</b>
<b>3. Introducción .....</b>	<b>56</b>
3.1 Solid Works 2007 .....	57
3.2 CosmosWorks 2007 .....	58
<b>4. Metodología del ensayo experimental .....</b>	<b>66</b>
4.1 Descripción de los equipos para ensayos. ....	66
4.2 DASYPAB .....	70
4.2.1 Diseño del sistema de ensayo mediante DASYPAB .....	71
4.2.2 Descripción del ensayo.....	75
4.2.3 Procedimiento para la realización del ensayo.....	76
4.3 CheckList del ensayo .....	78
4.4 Resultados primer ensayo experimental.....	79
<b>5. Proceso de modelado.....</b>	<b>81</b>
5.1 Piezas modeladas .....	81
5.1.1 Cuerpo de la válvula de retención.....	81
5.1.2 Clapeta .....	82
5.1.3 Tapa.....	83

5.1.4	Tornillería y ejes.....	83
5.2	Ensamblaje.....	84
5.3	Material utilizado .....	85
5.4	Mallado .....	86
5.5	Cargas y restricciones de movimiento .....	86
<b>CAPÍTULO TRES: RESULTADOS .....</b>		<b>88</b>
<b>6. Resultados de simulaciones.....</b>		<b>89</b>
6.1	Primera simulación .....	89
6.1.1	Tensión de Von Mises.....	89
6.1.2	Desplazamientos .....	91
6.1.3	Deformación unitaria .....	91
6.2	Segunda simulación .....	92
6.2.1	Tensión de Von Mises.....	93
6.2.2	Desplazamientos .....	94
6.2.3	Deformación unitaria .....	95
6.3	Tercera simulación.....	96
6.3.1	Tensión de Von Mises.....	97
6.3.2	Desplazamientos .....	98
6.3.3	Deformación unitaria .....	99
6.4	Cuarta simulación .....	100
6.4.1	Tensión de Von Mises.....	101
6.4.2	Desplazamientos .....	102
6.4.3	Deformación unitaria .....	103
6.5	Quinta simulación .....	104
6.5.1	Tensión de Von Mises.....	105
6.5.2	Desplazamientos .....	106
6.5.3	Deformación unitaria .....	107
6.6	Sexta simulación .....	108
6.6.1	Tensión de Von Mises.....	109
6.6.2	Desplazamientos .....	110
6.6.3	Deformación unitaria .....	111
<b>7. Resultados ensayo experimental.....</b>		<b>112</b>
<b>CAPÍTULO CUATRO: CONCLUSIONES .....</b>		<b>114</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>		<b>115</b>
8.1	Conclusiones del modelado .....	115
8.2	Conclusiones de la simulación. ....	118
<b>ANEXOS: .....</b>		<b>121</b>
<b>Sonda de presión Wika s-10.....</b>		<b>122</b>
<b>Sensor inductivo.....</b>		<b>126</b>
<b>Presupuesto .....</b>		<b>127</b>
<b>Bibliografía .....</b>		<b>128</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Efectos de la explosión en un silo de grano</i>	9
<i>Figura 2: Explosividad de Productos</i>	18
<i>Figura 3: Zonas clasificadas</i>	23
<i>Figura 4: Aspiración localizada en transportador de cadena</i>	32
<i>Figura 5: Detección de Gases</i>	33
<i>Figura 6: Molino de matillos. Control temperatura en rodamientos e interior de cámara de molienda</i>	34
<i>Figura 7: Cable de continuidad en conducto de transporte neumático</i>	34
<i>Figura 8: Puesta a tierra de camiones durante la descarga</i>	34
<i>Figura 9: Big-Bag Tipo B</i>	35
<i>Figura 10: Control de giro en elevador de cangilones</i>	36
<i>Figura 11: Detector desvío de banda en elevador de cangilones</i>	36
<i>Figura 12: Esquema sistema detección y apagado chispas</i>	38
<i>Figura 13: Equipo detección chispas en enfriador</i>	38
<i>Figura 14: Imán previo a almacenamiento</i>	38
<i>Figura 15: Sistema de limpieza de cuerpos extraños en alimentador de molino</i>	38
<i>Figura 16: Desarrollo de una explosión con supresión</i>	39
<i>Figura 17: Montaje de venteo en cubierta de silos</i>	40
<i>Figura 18: Montaje de venteo sin llama en filtro de mangas</i>	41
<i>Figura 19: Barrera de aislamiento de explosión químico</i>	42
<i>Figura 20: Válvula anti retorno de explosión</i>	43
<i>Figura 21: Alimentadores de tornillo sinfín pueden actuar como aislamiento de explosión</i>	43
<i>Figura 22: Válvulas rotativas certificadas para aislamiento de explosión</i>	43
<i>Figura 23: Válvula de aislamiento de explosiones Sistag</i>	44
<i>Figura 24: Válvula de aislamiento de explosiones Ventex</i>	45
<i>Figura 25: Válvula de aislamiento de explosiones con Ventex P activada</i>	47
<i>Figura 26: Ejemplo de aplicación de un sistema de alivio de explosión</i>	49
<i>Figura 27: Funcionamiento normal válvula VEX</i>	50
<i>Figura 28: válvula VEX en caso de explosión</i>	51
<i>Figura 29: Velocidad del flujo de aire (Rojo: &gt;30m/s)</i>	52
<i>Figura 30: Distribución de la velocidad en la superficie de la clapeta</i>	52
<i>Figura 31: Planos de la válvula a comercializar</i>	53
<i>Figura 32: Fotografías de la válvula VEX a comercializar</i>	54
<i>Figura 33: Diagrama de bloques del proyecto</i>	56
<i>Figura 34: MEF</i>	64

<i>Figura 35: Fotografía tomada del ensayo inicial</i> .....	67
<i>Figura 36: Recipiente de explosiones</i> .....	67
<i>Figura 37: Equipo de adquisición de datos</i> .....	68
<i>Figura 38: Extintores generadores de nube de polvo</i> .....	68
<i>Figura 39: Cerilla industrial</i> .....	69
<i>Figura 40: Panel de venteo del recipiente de explosiones</i> .....	69
<i>Figura 41: Esquema general del programa de ensayo en Dasylab.</i> .....	70
<i>Figura 42: Esquema general del programa de ensayo en Dasylab.</i> .....	71
<i>Figura 43: Programa para la calibración de las sondas</i> .....	74
<i>Figura 44: Pantalla DIADEM con los datos del ensayo inicial</i> .....	79
<i>Figura 45: Gráfico de presiones obtenidas en el ensayo inicial</i> .....	79
<i>Figura 46: Máxima presión del ensayo inicial</i> .....	80
<i>Figura 47: Modelado del cuerpo de la válvula</i> .....	82
<i>Figura 48: Clapeta de cierre de la válvula</i> .....	82
<i>Figura 49: Tapa de la válvula</i> .....	83
<i>Figura 50: Tornillería y eje de la válvula de retención</i> .....	83
<i>Figura 51: Explosión del ensamblado</i> .....	84
<i>Figura 52: Ensamblaje inicial de la válvula</i> .....	84
<i>Figura 53: Propiedades del acero ST 52</i> .....	85
<i>Figura 54: Mallado inicial del conjunto de la válvula de retención.</i> .....	86
<i>Figura 55: Cargas y restricciones de movimiento de la válvula de retención</i> .....	87
<i>Figura 56: Simulación 1, Tensión de Von Mises</i> .....	89
<i>Figura 57: Simulación 1, Tensión de Von Mises. Detalle tornillo</i> .....	90
<i>Figura 58: Simulación 1, Tensión de Von Mises. Referencia límite elástico</i> .....	90
<i>Figuras 59: Simulación 1, Desplazamientos</i> .....	91
<i>Figura 60: Simulación 1, Deformaciones unitarias</i> .....	91
<i>Figura 61: Simulación 2, Refuerzos</i> .....	92
<i>Figura 62: Simulación 2, Mallado</i> .....	92
<i>Figura 63: Verificación de la Simulación 2</i> .....	93
<i>Figura 64: Simulación 2, Tensiones</i> .....	93
<i>Figura 65: Simulación 2, Desplazamientos</i> .....	94
<i>Figura 66: Simulación 2, Deformaciones unitarias</i> .....	95
<i>Figura 67: Simulación 3, Refuerzos</i> .....	96
<i>Figura 68: Simulación 3, Mallado</i> .....	96
<i>Figura 69: Verificación de la simulación 3</i> .....	97
<i>Figura 70: Simulación 3, Tensión de Von Mises</i> .....	97
<i>Figura 71: Simulación 3, Desplazamientos</i> .....	98
<i>Figura 72: Simulación 3, Deformaciones unitarias</i> .....	99

<i>Figura 73: Simulación 4, Refuerzos.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 74: Simulación 4, Ensamblaje mallado .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 75: Verificación de la simulación 4 .....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 76: Simulación 4, tensión de Von Mises .....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 77: Simulación 4, Desplazamientos.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 78: Simulación 4, Desplazamientos. Zona interior- posterior .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 79: Simulación 4, Deformaciones unitarias .....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 80: Simulación 5, Refuerzos.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 81: Simulación 5, Ensamblaje mallado .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 82: Verificación de la simulación 5 .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 83: Simulación 5, Tensión de Von Mises .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 84: Simulación 5, Desplazamientos.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 85: Simulación 5, Desplazamientos.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 86: Simulación 5, Deformaciones unitarias .....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 87: Simulación 6, Refuerzos.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 88: Simulación 6, Ensamblaje mallado .....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 89: Verificación de la simulación 6 .....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 90: Simulación 6, Tensión de Von Mises .....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 91: Simulación 6, Desplazamientos.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 92: Simulación 6, Desplazamiento. Detalle interior .....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 93: Simulación 6, Deformaciones unitarias .....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 94: Fotografías de los ensayos experimentales. ....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 95: Presiones obtenidas en el ensayo .....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 96: Conclusión. Explosión de ensamblajes de simulación inicial y final .....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 97: Conclusión. Tensión de simulación inicial y final .....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 98: Conclusión. Desplazamientos de simulación inicial y final .....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 99: Conclusión de la simulación .....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 100: Detalles de la deformación frontal obtenida.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 101Catálogo de válvulas antiexplosión comercializadas .....</i>	<i>120</i>



# ***CAPÍTULO CERO: OBJETIVOS***



## ***Antecedentes***

Son muy numerosas las instalaciones en la que se tratan o están presentes gases, vapores y polvos combustibles, como por ejemplo procesos químicos, manipulación de carbón, filtración de polvos, recuperación de vapores, manipulación y almacenamiento de grano, molido, etc., con el consiguiente riesgo de que se produzcan explosiones, desgraciadamente frecuentes en la práctica, que son origen de daños a las personas y a las instalaciones.

Por otra parte, a la explosión principal u origen es frecuente que la sucedan otras explosiones secundarias, que llegan a destruir todas las instalaciones ocasionando numerosas víctimas y cuantiosos daños materiales.

Las posibilidades de que se produzcan tales pérdidas, humanas y materiales, son razones suficientes para desarrollar medidas preventivas que reduzcan o eliminen el riesgo de explosión y medidas de protección que salven vidas y bienes en el caso de que la explosión se produzca.



*Figura 1: Efectos de la explosión en un silo de grano*

En la anterior imagen podemos observar los efectos de la explosión de un silo de grano en la localidad de Blaye, 50 km al norte de Burdeos (Francia). Dicha, explosión ocasionada en 1997, causo la muerte de 11 personas.

Una de las acciones más efectuadas en la industria es realizar una evaluación del riesgo de explosión en los diferentes equipos, con ello conseguimos identificar las instalaciones con mayor probabilidad de explosión para posteriormente aislarlas del resto de equipos con equipos de protección y antipropagación de la explosión como la válvula estudiada en este proyecto.



## **Objetivos**

El principal objetivo del proyecto consistirá en el modelado adaptativo, simulación y análisis de una válvula de aislamiento de explosiones para las diferentes industrias con riesgo de explosión con presencia de nubes de polvo constantes en alguno de sus equipos para su posterior comercialización.

Por su parte, este proyecto servirá para parametrizar la válvula de aislamiento y transpolar los resultados a válvulas de diferentes dimensiones.

Obtendremos la máxima presión a la que estará sometida nuestra válvula de aislamiento de explosiones mediante un ensayo inicial de una válvula sobredimensionada. Conociendo los valores de presión a los que nos enfrentamos diseñaremos una nueva válvula partiendo de láminas de acero al carbono de 3-8 mm e intentaremos optimizar su modelado con el menor número de refuerzos posible.

Los objetivos secundarios del proyecto son conocer el programa SolidWorks para el modelado y ensamblaje de piezas y una de sus principales herramientas para la simulación de las mismas, CosmosWors. Por otro lado, también nos familiarizaremos con la metodología de este tipo de ensayos y con los equipos utilizados en ellos.

Como objetivo final del proyecto destacamos la obtención de los valores de tensión, desplazamientos, deformaciones unitarias y comportamiento en general de este tipo de válvulas de aislamiento de explosión para la posterior comparación con otros tipos de válvulas analizadas en diferentes proyectos realizados por alumnos de la universidad Carlos III de Madrid.



# ***CAPÍTULO UNO: ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS***



## **1. Introducción ATEX**

Las explosiones debidas a gas, vapores o polvo combustible, se dan en los más diversos y variados procesos de la industria, afectando a actividades como procesos químicos, recuperación de vapores, almacenamiento, transporte, molienda, filtración, secado, mezclado, etc. En combinación con el oxígeno del aire, el gas, vapor o polvo que se produce en esos procesos, puede ocasionar una atmósfera potencialmente explosiva que, en caso de ignición, producirá una explosión.

Las explosiones de polvo, por su parte, son habituales en el caso de los productos que se almacenan y procesan en el manejo del cereal. Cuando dichas explosiones se producen, los resultados suelen ser desastrosos tanto para personas como para las instalaciones, poniéndose de manifiesto con varios casos recientes tanto en España como en la UE.

Para minimizar el riesgo de explosión, las directivas ATEX (Atmosferas explosivas) regulan los requerimientos de equipos e instalaciones en presencia de atmósferas potencialmente explosivas. Dichas directivas son de obligado cumplimiento desde el pasado 1 de Julio del 2003 y es obligatoria la normativa ATEX que regula los requerimientos de equipos e instalaciones en presencia de atmósferas potencialmente explosivas

Estas directivas, conocidas como ATEX son:

- Dir. 94/9/CE (ATEX 100).Transpuesta al derecho interno español mediante el RD 400/96.Fija dispositivos de seguridad de control y ajustes que contribuyan al buen funcionamiento de los aparatos y sistemas de protección.



- Dir. 1999/92/CE (ATEX 137). Transpuesta al derecho interno español mediante el RD 681/2003. Fija las prescripciones mínimas de protección en materia de seguridad y salud de los trabajadores que pueden verse expuestos a los riesgos de atmósferas susceptibles de explosión. Es obligación del empresario la elaboración de un documento de protección contra explosiones, que además se debe mantener actualizado.

Las medidas preventivas que se realicen y las medidas finalmente adoptadas o planificadas deben ser conformes al orden de prioridades que se establece en los principios generales de acción preventiva definidos en el artículo 15.1 de la LPRL.

1. Evitar los riesgos: **Evitar la formación de ATEX**
2. Evaluar los riesgos que no hayan podido evitarse: **Evaluar el riesgo de ignición de la ATEX**
3. Aplicar las medidas preventivas oportunas para que en caso de que se materialice el riesgo se garantice la seguridad de los trabajadores: **Atenuar los efectos de la explosión**



## **1.1 Definiciones**

Sírvase como referencia el uso de la norma UNE EN 13237 y UNE EN 1127-1, no obstante a continuación se incluyen algunos de los términos más usados:

### **Atmósfera explosiva**

Mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gas o polvo, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada. No aplica para sustancias inestables, como explosivos, o cuando la mezcla explosiva está fuera de lo que se entiende como condiciones atmosféricas normales.

### **Sustancia inflamable / combustible**

Sustancia en forma de líquido, sólido o de sus mezclas, que al mezclarse con el aire puede ser capaz de sufrir una reacción exotérmica después de la ignición.

### **Zona Clasificada ATEX**

Región con riesgo de formación de atmósfera explosiva, teniendo en cuenta la probabilidad de formación y duración de la misma.

### **Condiciones atmosféricas normales**

Cuando la temperatura está comprendida entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $60^{\circ}\text{C}$  y la presión está en el rango 0,8 bar a 1,1 bar. Esto está motivado porque los productos eléctricos suelen diseñarse y ensayarse para su uso en un intervalo de temperaturas ambiente de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ . Los productos diseñados para su uso fuera de este intervalo necesitan un marcado adicional y la realización de ensayos complementarios.



### **Fuente de escape**

Punto o localización por donde el gas/polvo puede escapar, por lo que se puede formar una mezcla explosiva en aire. Dependiendo de las circunstancias, no toda fuente de escape producirá necesariamente una mezcla explosiva, pero tiene que tenerse en cuenta, ya que una fuente difusa o pequeña con el tiempo es capaz de producir una atmósfera potencialmente peligrosa.

### **Disfuncionamiento**

Los aparatos, sistemas de protección y componentes no desempeñan la función prevista como la variación de una característica o de una dimensión del material procesado o de la pieza elaborada, el fallo de una (o más) partes de los aparatos, sistemas de seguridad y componentes, perturbaciones externas (ejemplo.: choques, vibraciones, campos electromagnéticos), error o deficiencia en el diseño (ejemplo.: errores de software), perturbaciones en la alimentación de energía o en otros servicios, pérdida de control por parte del operador (especialmente para máquinas portátiles).

### **Temperatura Mínima de Inflamación (TMI)**

Temperatura más baja de una superficie caliente, obtenida en condiciones de ensayo determinadas, a la que se puede producir la ignición de una sustancia combustible en forma de mezcla de gas o vapor con aire.

### **Límite inferior de explosividad (LIE):**

Concentración en el aire de gas o vapor inflamable por debajo de la cual la atmósfera de gas no es explosiva.





### **Límite superior de explosividad (LSE):**

Concentración en el aire de gas o vapor inflamable por encima de la cual la atmósfera de gas no es explosiva.

### **Grupo y Subgrupo de gas**

IIA, IIB o IIC, lo que depende de características específicas del gas, como son su Energía Mínima de Inflamación (EMI), su Corriente Mínima de Inflamación (CMI), o su Intersticio Experimental Máximo de Seguridad (IEMS)

### **Energía Mínima de Inflamación (EMI)**

Es la menor energía, en función de la concentración a la que, a partir de una descarga capacitiva, se inicia la explosión. El dispositivo de ensayo es un Tubo de Hartmann.

### **Concentración mínima explosiva (CME)**

Llamamos CME al límite inferior de un intervalo de concentraciones de polvo en suspensión para el cual la mezcla polvo-aire es potencialmente explosiva. El método de ensayo tradicional para determinar la CME se basa en el denominado Tubo de Hartmann.

### **Presión máxima de explosión (PME o Pmax)**

Se llama presión máxima de explosión a la presión más alta alcanzada durante el proceso de explosión. Da indicación del efecto destructivo de una explosión y se emplea en el cálculo y diseño de sistemas de protección contra explosiones.



### Constante característica (Kst o Kmax)

Es una constante característica de cada tipo de polvo combustible, que se emplea para establecer una clasificación de la explosividad del polvo en cuatro categorías o clases de explosión diferentes. El valor máximo de Kst se le viene denominando Kmax.

En la siguiente tabla de explosividad se da la relación existente entre la clase de explosión, la constante característica y la severidad física de la explosión de polvo.

Clase	Kmax (bar.m/s)	Característica
St 0	0	No hay explosión
St 1	0-200	Explosión débil
St 2	200-300	Explosión fuerte
St 3	>300	Explosión muy fuerte

*Figura 2: Explosividad de Productos*



## ***1.2 Clasificación de zonas con riesgo de explosión por polvo combustible.***

### *1.2.1 Consideraciones previas*

Las atmósferas explosivas se forman sólo en concentración de polvo dentro de los límites de explosión. Téngase en cuenta que nubes de polvo en concentraciones muy elevadas no son explosivas pudiendo existir riesgo en el caso de disminuir la concentración. Por esto mismo se puede concluir que no todas las fuentes de escape producen atmósferas explosivas.

El polvo no extraído del sistema puede formar capas que diluidas en aire darán lugar a una atmósfera explosiva

La clasificación de zonas se hace en función de la probabilidad de que aparezca una atmósfera explosiva y parte de su importancia radica en la posterior elección de equipos con un nivel de protección apropiado, de manera que la probabilidad de coincidencia en el tiempo de una atmósfera explosiva y una fuente de ignición sea tan baja que pueda ser aceptable.

### *1.2.2 Procedimiento para la clasificación de zonas de atmósferas explosivas por polvo*

En primer lugar hay que comprobar si el polvo es combustible. La combustibilidad se puede determinar mediante IEC 60079-20-2. También es necesario conocer el resto de parámetros que influyen en la explosividad de un producto como pueden ser la granulometría, humedad, friabilidad, etc.

Otro parámetro muy importante es conocer los procesos y parámetros de operación de la planta en cuestión como por ejemplo frecuencia de mantenimiento y limpieza de la instalación.



El siguiente paso es identificar puntos donde se produce el polvo o procesos en los que el polvo esté en concentraciones dentro de los límites de explosividad. Es de gran ayuda consultar los planos y esquemas de proceso.

Por último habría que estimar la frecuencia con que se producen escapes de polvo o las capas de polvo se ponen en suspensión

Una vez se han tenido en cuenta todos los parámetros anteriormente descritos es posible determinar la zona y su extensión. Es habitual incluir los resultados en planos de clasificación que además servirán para hacer la evaluación de fuentes de ignición.

La clasificación de zonas se debe revisar cada vez que se introduzcan cambios en el proceso, materias primas o se produzcan más fuentes de escape debido al deterioro de la instalación.

### ***1.3 Clasificación de zonas con riesgo de explosión por gas combustible***

La determinación de la extensión de las ATEX formadas a partir de escapes se realiza en base a los conceptos de “entorno próximo” y “espacio alejado” de las fuentes de escape, de acuerdo con el Informe UNE 202007. Igualmente se utilizan las fórmulas de cálculo recogidas en dicho Informe.

El “entorno próximo” se define mediante la distancia de dilución “dz”, que es la distancia que recorre el escape hasta que se diluye en el aire ambiente hasta una concentración igual al Límite Inferior de Explosividad (LIE).

En general, cuando los escapes ocurren al aire libre no existe posibilidad de acumulación de sustancia en el ambiente, dado que la atmósfera es un volumen infinito y, por tanto, un ambiente “infinitamente” receptor de sustancia.



Sin embargo, cuando los escapes ocurren en recintos cerrados con volúmenes finitos ("espacio alejado"), las sustancias se acumulan en el ambiente, pudiéndose definir y calcular una "concentración promedio" que depende de la tasa del escape ( $\text{kg/s}$  ó  $\text{m}^3/\text{s}$ ), de su duración y de la tasa de ventilación general ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ó tasa renovación de aire del recinto ( $\text{s}^{-1}$ ).

#### ***1.4 Identificación de Fuentes de escape***

Para la identificación de fuentes de escape se hace necesario conocer el funcionamiento de los equipos, condiciones de proceso tanto en funcionamiento normal como en funcionamiento anormal, en arranques y paradas. También se hace necesario diferenciar entre fuentes de escape en el exterior de equipos o recipientes y en el interior.

En el interior de equipos y recipientes las atmósferas explosivas se consideran como parte del proceso siendo habitual la formación de atmósferas explosivas de forma continua. En otros casos la aparición de atmósferas explosivas de forma continua dependerá de la frecuencia de uso del equipo. En el interior de equipos es normal la formación de capas de polvo en paredes, repisas etc. Por lo que es también necesario estudiar la frecuencia con la que estas capas de polvo se forman y se ponen en suspensión formando atmósferas explosivas.

En el exterior de equipos y recipientes hay muchos factores que pueden afectar a la clasificación de zonas.

En aquellos sistemas que trabajan en presión positiva la posibilidad de fuentes de escape de polvo al exterior será mayor cuanto mayor es la presión. Por otro lado en sistemas que trabajan en depresión la probabilidad de aparición de fuentes de escape se reduce significativamente.



El tamaño de partícula, humedad y donde sean de aplicación factores como velocidad de transporte, caudales de llenado y vaciado tienen gran influencia en la probabilidad de aparición de fuentes de escape.

Una vez conocidos los puntos de formación de Fuentes de escape se deben clasificar en función del grado o frecuencia de aparición:

**Grado de escape continuo:**

Donde las nubes de polvo existen de forma continua o pueden estar presentes durante largos periodos de tiempo o cortos periodos de tiempo que ocurren frecuentemente.

**Grado de escape primario:**

Escape que se espera ocurra de forma periódica u ocasionalmente durante operación normal.

**Grado de escape secundario:**

Escape que no se espera que ocurra en operación normal pero si ocurriera sería de forma no frecuente y por corto espacio de tiempo.



### 1.5 Clasificación por Zonas

Las áreas clasificadas por atmósferas explosivas debidas a gas o polvo se dividen en zonas las cuales hacen referencia a la frecuencia y duración de las atmósferas explosivas.

#### Zona 0/20

Lugar en el que una atmósfera explosiva está presente de forma continua o por largos periodos o frecuentemente.

#### Zona 1/21

Lugar en el que una atmósfera explosiva es probable que ocurra de forma ocasional durante operación normal.

#### Zona 2/22

Lugar en el que una atmósfera explosiva no es probable que ocurra durante operación normal pero en caso de ocurrir se dará por un periodo de tiempo corto.

*	**	Zonas Clasificadas (ZC)
Zona 0	Zona 20	Área en la que una atmósfera explosiva está presente de modo permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia
Zona 1	Zona 21	Área en la que es probable, en condiciones normales de explotación, la formación ocasional de una atmósfera explosiva
Zona 2	Zona 22	Área en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de atmósfera explosiva o si se forma, permanece durante breves períodos de tiempo.
* Gases, Vapores y Nieblas de Sustancias Inflamables en el Aire		
** Nube de Polvo combustible en el Aire. Capas, depósitos y montones de polvo se deben considerar como cualquier otra fuente de escape que produzca una atmósfera explosiva.		

Figura 3: Zonas clasificadas



## **Extensión**

La extensión de una zona por atmósfera explosiva se define como la distancia en cualquier dirección desde la fuente de escape hasta el punto donde el riesgo asociado con esa zona se considera que no existe más. Se considerará la no existencia de atmósfera explosiva si ésta se mantiene por debajo de los límites de explosividad con un cierto margen de seguridad

Si en un recinto hay zonas clasificadas debidas de diversas fuentes de escape y la distancia entre dichas zonas no es significativa entonces se clasificará todo el recinto.





### **1.6 Fuentes de ignición**

A continuación se describen las fuentes de ignición más habituales en las instalaciones industriales y que son necesarias analizar a la hora de realizar la evaluación de riesgo de explosión, siendo además muy importante tener en cuenta las chispas generadas durante tareas de mantenimiento y limpieza. Si no se puede estimar la probabilidad de que existan fuentes de ignición, se debe suponer que la fuente de ignición está siempre presente.

Las fuentes de ignición se clasifican tanto para equipos como instalaciones en función de la probabilidad de que aparezcan, de la manera siguiente:

- a) fuentes de ignición que pueden aparecer en funcionamiento normal;
- b) fuentes de ignición que pueden aparecer solamente como consecuencia de disfunción previsible;
- c) fuentes de ignición que pueden aparecer solamente como consecuencia de disfunción rara.

Las diferentes fuentes de ignición a considerar son:

- Superficies calientes
- Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes)
- Chispas de origen mecánico
- Material eléctrico
- Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica
- Electricidad estática
- Rayo

- Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF), de 104 Hz a  $3 \times 10^{12}$  Hz
- Ondas electromagnéticas de  $3 \times 10^{11}$  Hz a  $3 \times 10^{15}$  Hz
- Ultrasonidos
- Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos
- Frecuencia de aparición de fuentes de ignición:

### **Factores que afectan a la probabilidad de ignición**

#### Humedad

Productos con mayor contenido en humedad necesitarán mayor energía para conseguir su inflamación.

#### Tipología

El límite superior de explosividad se suele situar por encima de 4000 g/m<sup>3</sup>.

#### Temperatura

A medida que se aumenta la temperatura del polvo éste reduce su energía de inflamación.

#### Tamaño de partícula:

A menor tamaño, mayor es la superficie expuesta y menor es la energía de inflamación.



### **1.7 Marcado de equipos ATEX**

La selección correcta de los equipos que van a estar en contacto con una atmósfera explosiva (ATEX) es una de las primeras medidas del diseño de las instalaciones industriales.

Al hablar del marcado de equipos para uso en ATEX, se deben tener en cuenta:

- **Marcado de conformidad con la Directiva 94/9/CE**, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- **Marcado normativo**, complementario del anterior, y que está básicamente orientado a permitir una utilización segura del equipo (en términos de instalación, mantenimiento y uso), haciendo referencia a elementos tales como modos de protección empleados en el diseño y construcción del mismo, grupo de gases para el que está destinado, clase de temperatura del equipo...

De conformidad con la Directiva 94/9/CE se pueden distinguir cuatro tipos diferentes:

- a) Aparatos
- b) Sistemas de protección
- c) Componentes
- d) Material asociado

El marcado de aparatos debe ser conforme al RD 400/1996 de 1 de marzo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 94/9/CE.





La estructura característica del marcado de estos elementos es la que se presenta a continuación:

El marcado **CE** siempre debe ir acompañado de los 4 dígitos que identifican al organismo notificado que controla la calidad en la



producción, además del hexágono con el símbolo **EX**, y el grupo al que pertenece (I para minería ó II para no minería).

A continuación se indicará la categoría del equipo\* para acabar con el símbolo de uso (G o/y D).

#### a) Aparatos

	Marca "CE"	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Categoría	Símbolo de uso
Aparatos para uso en minería		XXX		I	<b>M1 M2</b>	
Aparatos para usos industriales distintos a la minería		XXXX		II	<b>1 2 3</b>	<b>G D G/D</b>



#### b) Sistemas de protección

	Marca "CE"	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Símbolo de uso
Sistemas de protección autónomos		XXXX		II	<b>G D GD</b>

#### c) Componentes

	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Categoría	Símbolo de uso
Componentes para usos industriales distintos a la minería	XXXX		II	<b>1 2 3</b>	<b>G D G/D</b>

#### d) Material asociado

	Marca "CE"	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Categoría	Símbolo de uso
Material asociado		XXX		II	<b>(1)</b>	<b>G</b>

### 1.7.1 Modos de protección

#### Equipos eléctricos:

Los equipos eléctricos van marcados con las siglas Ex (antes EEx); además se deberán indicar los modos de protección. Esta indicación es importante para los fabricantes a la hora del diseño y fabricación, y para los usuarios a la hora de realizar los mantenimientos.

#### Para gases:

EQUIPOS ELÉCTRICOS (GASES)	
Modo	Símbolo
Envolvente antideflagante	d
Presurización	p (px, py, pz)
Encapsulado	m (ma, mb)
Relleno pulverulento	q
Inmersión en aceite	o
Seguridad aumentada	e
Seguridad intrínseca (equipos)	i (ia, ib)
Modos simplificados protección "n"	nA, nC, nR, nL

#### Para polvos:

EQUIPOS ELÉCTRICOS (POLVOS)	
Modo	Símbolo
Envolvente	tD
Presurización	pD
Seguridad intrínseca	iaD, ibD
Encapsulado	maD, mbD

Además, en el caso de los polvos se debe indicar el índice de protección **IP**, el cual consta de dos dígitos después de las siglas (IPxx); el primero se refiere al polvo y el segundo a los líquidos.

Valor	Grado de estanqueidad
0	Sin protección
1	Protección contra objetos > 50 mm
2	Protección contra objetos > 12 mm
3	Protección contra objetos > 2,5 mm
4	Protección contra objetos > 1 mm
5	Protegido contra el polvo
6	Totalmente protegido contra el polvo

### Equipos no eléctricos:

Los equipos no eléctricos o mecánicos no van marcados con las siglas Ex, pero sí que, al igual que los eléctricos, se debe indicar y marcar el modo de protección empleado.

EQUIPOS MECÁNICOS (NO ELÉCTRICOS)	
Modo	Símbolo
Envolvente de respiración restringida	fr
Envolvente antideflagante	d
Seguridad inherente	g
Seguridad constructiva	c
Control de fuentes de ignición	b
Presurización	p
Inmersión en líquido	k



## ***1.8 Medidas de Prevención y Protección de Explosiones***

### *1.8.1 Medidas organizativas de prevención*

- Instrucciones de Servicio
- Formación de los Trabajadores
- Permisos de Trabajo
- Mantenimiento Preventivo
- Señalización de Zonas con Riesgo de Explosión

### *1.8.2 Medidas para reducir la atmósfera explosiva*

#### **1.8.2.1 ASPIRACIÓN LOCALIZADA**

Debido a la presencia de polvo se puede dar lugar a mezclas explosivas siendo por este motivo interesante la instalación de sistemas de aspiración localizada en lugares como en la carga y descarga de cintas transportadoras, tolvas, puntos de transferencia, elevadores de cangilones, clasificadores molinos, carga y descarga de camiones etc.

Mantener el interior de los equipos en depresión no solamente ayuda a reducir la concentración de polvo en el interior de equipos sino que también ayuda a evitar fugas al exterior lo que hará las tareas de limpieza y mantenimiento mucho menos costosas. Además nos permitirá en muchos casos poder desclasificar el exterior de los equipos lo que sin duda ayuda a la hora de adecuar una instalación a normativa ATEX.

Los ventiladores deben poseer un nivel de protección acorde a la zona donde va a ser emplazado y caudal suficiente para evitar la formación de nubes de polvo y evitar acumulaciones en los conductos.

Es recomendable el uso de sistemas de aspiración individuales para cada equipo o sistemas para varios equipos pero donde en caso de explosión no sea posible la propagación de las llamas al resto de la instalación.



*Figura 4: Aspiración localizada en transportador de cadena*

#### 1.8.2.2 DETECCIÓN DE GASES

En instalaciones industriales de todo tipo es habitual encontrar calderas ya sea para la generación de vapor como para agua caliente. En muchas de estas calderas el combustible es gas natural, gas ciudad, propano, butano, etc. En las instalaciones que manejan gases combustibles existe la posibilidad de escapes produciendo nubes de gas en el aire y generando atmósferas potencialmente explosivas.

Es por tanto necesario controlar posibles escapes de gas ya sea mediante una buena ventilación para lo cual se puede tomar como referencia la norma EN 60079-10 o mediante la detección temprana de escapes con ayuda de detectores de gas.





*Figura 5: Detección de Gases*

### *1.8.3 Medidas para evitar fuentes de ignición*

#### 1.8.3.1 CONTROL DE TEMPERATURA

Como ya se ha mencionado anteriormente las superficies calientes constituyen una fuente potencial de ignición de atmósferas explosivas por lo que su eliminación se hace necesaria en aquellos casos donde no es posible el control de la atmósfera explosiva.

Es habitual instalar sensores de temperatura en rodamientos, motores, reductores, en el interior de equipos como secadores, molinos y por lo general en el interior todos aquellos equipos susceptibles de recalentar el producto que procesan y que pueden superar la temperatura de inflamación en capa o en nube o simplemente pueden acelerar el proceso de autocombustión.

Temperatura de tarado suele estar comprendida entre: +50 y +120°C

Es también importante instalar equipos para el control de temperatura que dispongan de un nivel de protección acorde a la zona de riesgo donde vaya a ser emplazado.



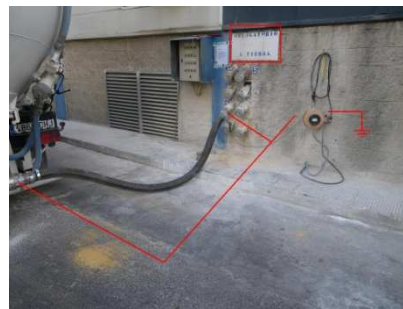
*Figura 6: Molino de matillos. Control temperatura en rodamientos e interior de cámara de molienda*

### 1.8.3.2 PUESTA A TIERRA

Otra potencial fuente de ignición son las descargas por energía estática. Para evitarlas es muy importante la puesta a tierra de los equipos de manera que se garantice una buena continuidad equipotencial en toda la instalación. Se recomienda prestar especial atención a la continuidad eléctrica de los conductos de transporte neumático.



*Figura 7: Cable de continuidad en conducto de transporte neumático*



*Figura 8: Puesta a tierra de camiones durante la descarga*

En aquellas instalaciones donde se maneje polvo combustible fino y seco es previsible se formen atmósferas explosivas que inflamarán con fuentes de ignición de muy baja energía, siendo en estos casos el riesgo de inflamación por descargas de estática. Es en estos equipos muy importante evitar descargas de estática para lo cual se utilizarán materiales conductores en la medida de lo posible. Un ejemplo es el uso de big-bag contruidos a base de materiales disipativos, puestos a tierra mediante pinzas homologadas.



*Figura 9: Big-Bag Tipo B*

Durante la descarga de camiones cisterna por transporte neumático se producen rozamientos causantes de una gran acumulación de estática que puede desencadenar en la descarga de arcos muy energéticos capaces de inflamar cualquier atmósfera explosiva. Por este motivo se recomienda el uso de pinzas ATEX certificadas de puesta a tierra como en la figura.

#### 1.8.3.3 CONTROL DE GIRO

Al variar las condiciones de trabajo de cualquier equipo de transporte de sólidos es posible generar sobre esfuerzos, atascos, rotura de ejes etc. Durante este tipo de disfunciones es normal que se produzca rozamiento entre el producto transportado y partes fijas lo que lleva a un calentamiento del producto hasta formar partículas incandescentes e incluso incendios y finalmente una explosión en el caso de estar presente una atmósfera explosiva.

El control de giro es una medida muy eficaz para evitar este tipo de disfuncionamientos peligrosos en equipos.

El control de giro monitoriza la velocidad de rotación en el eje. Cuando la velocidad alcanza un valor inferior al límite de seguridad preestablecido, el controlador emite una señal de alarma, debiendo en este momento parar el proceso de forma segura y comprobar el equipo.



*Figura 10: Control de giro en elevador de cangilones*

#### 1.8.3.4 CONTROL DE DESVÍO

Este sistema se instala básicamente en elevadores de cangilones y cintas transportadoras. Está basado en la instalación de detectores a ambos lados de la banda, lo más cerca posible de las poleas motriz y tensora.

La instalación de un sistema eficaz de detección y control de desvío de banda evitará situaciones peligrosas debidas al rozamiento de la banda con las partes fijas del equipo, evitando así superficies calientes, partículas incandescentes e incendios que podrían desencadenar una explosión.



*Figura 11: Detector desvío de banda en elevador de cangilones*



### 1.8.3.5 DETECCIÓN DE CHISPAS

En equipos de transporte neumático, mecánico, molinos, prensas granuladoras en los que se transporten o procesen materiales inflamables pueden ocasionarse partículas incandescentes en caso de un excesivo rozamiento. También es posible que a los equipos les lleguen partículas incandescentes como consecuencia de una autocombustión previa en los silos de almacenamiento o incluso en el interior de otros equipos. Estas son muy peligrosas pues constituyen fuentes de ignición de alta energía pudiendo producir incendios y explosiones.

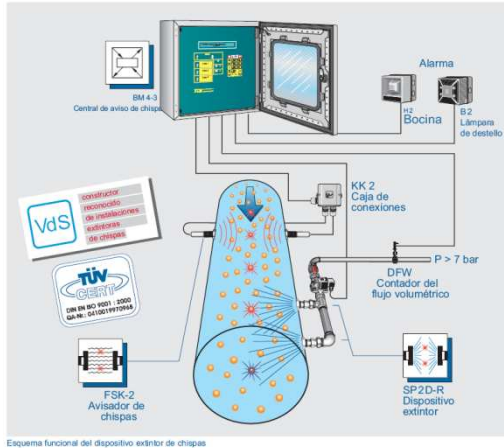
Todos estos equipos pueden estar protegidos con instalaciones de detección y extinción de chispas.

Componentes habituales de estos sistemas son:

- Detector de chispas
- Central de aviso de chispas (Controlador)
- Dispositivo extintor de chispas

#### *Funcionamiento*

Los detectores de chispas, envían una señal de alarma a la central de aviso y esta actúa en un margen de milisegundos activando un dispositivo extintor o una válvula de cierre rápido o de desvío. Los agentes extintores más utilizados son CO<sub>2</sub> o agua.



*Figura 12: Esquema sistema detección y apagado chispas*



*Figura 13: Equipo detección chispas en enfriador*

### 1.8.3.6 ELIMINACIÓN DE CUERPOS EXTRAÑOS

La presencia de cuerpos extraños resulta un peligro importante ya que este es el motivo de numerosas disfunciones en los equipos que producen fuentes de la ignición del tipo superficies calientes, chispas mecánicas por impacto, incendios, etc. Todas ellas con capacidad para inflamar una atmósfera explosiva. Es por lo tanto muy recomendable el uso de dispositivos que reduzcan o eviten la presencia de cuerpos extraños como piedras, metales, maderas etc.

Algunos de estos dispositivos son imanes, detectores de metales, limpieas neumáticas, tamices clasificadores, rejillas, etc.



*Figura 14: Imán previo a almacenamiento*



*Figura 15: Sistema de limpieza de cuerpos extraños en alimentador de molino*

### 1.8.4 Medidas de protección

#### 1.8.4.1 SUPRESIÓN DE EXPLOSIÓN

La supresión de explosión es un medio de protección apropiado tanto para depósitos como para equipos. El agente extintor suprime la combustión de una explosión en su estado inicial evitando así el aumento súbito de presión en el interior del equipo o recipiente.

El tiempo de actuación es de tan solo unos milisegundos, liberando el agente extintor en el interior del equipo o recipiente a proteger y permitiendo al sistema suprimir una explosión cuando está en su fase inicial, extinguiendo las llamas y reduciendo la presión final hasta valores admisibles por el equipo a proteger.

La supresión constituye una alternativa a tener en cuenta en aquellos equipos o depósitos que por estar en el interior de instalaciones no es posible proteger por otros métodos. Este es el caso de numerosos elevadores de cangilones, molinos, tolvas, filtros de mangas etc.

Elementos básicos del sistema de supresión son:

- Detectores de presión
- Equipo del control
- Botellas con agente extintor

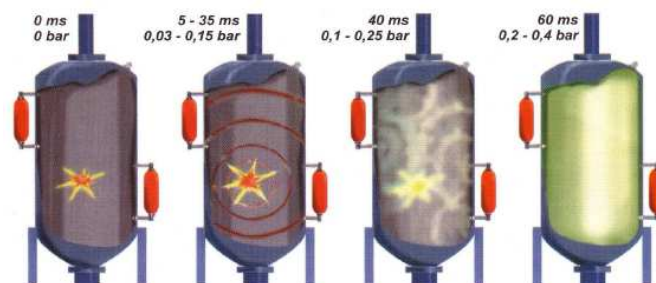


Figura 16: Desarrollo de una explosión con supresión



#### 1.8.4.2 VENTEO DE EXPLOSIÓN

Es un medio de protección apropiado para equipos, depósitos, silos, etc. Consiste en la instalación de membranas débiles que rompen en caso de explosión a una presión preestablecida, liberando la sobrepresión y llamas a una zona segura.

Existen diferentes sistemas de venteo como son las puertas de explosión, paneles de venteo, venteo sin llama etc.

El sistema más utilizado por su versatilidad y coste son los paneles de venteo.

Por tratarse de un sistema de protección contra la explosión los dispositivos de venteo deben haber sido previamente certificados por un Organismo Notificado, siendo además una garantía de funcionamiento.

Su instalación se realiza básicamente en todos aquellos equipos o recipientes cerrados en cuyo interior existe una atmósfera explosiva de forma continua o es previsible su formación en funcionamiento normal y cuya ignición resultaría en una explosión.



*Figura 17: Montaje de venteo en cubierta de silos*



#### 1.8.4.3 VENTEO SIN LLAMA

En aquellas instalaciones donde el venteo convencional de equipos no es posible por encontrarse estos en el interior de la instalación y a cierta distancia de cualquier zona segura, el venteo sin llama resulta una solución muy apropiada.

La base de su función de protección contra la explosión es la misma que en el venteo convencional pero en este caso se confina la llama resultante de la explosión en el interior de una envolvente de malla u otro material poroso que absorbe su energía y la apaga, permitiendo el paso de los gases de combustión y descomprimiendo el equipo.

Debido a la temperatura de los gases de escape la instalación de estos equipos hace necesaria una zona de seguridad de entorno a 1-2m



*Figura 18: Montaje de venteo sin llama en filtro de mangas*

#### 1.8.4.4 AISLAMIENTO DE EXPLOSIÓN

Para hacer una protección eficaz contra la explosión no resulta suficiente la instalación de dispositivos que reduzcan la presión resultante y controlen las llamas, además es necesario evitar la propagación de la explosión a otros equipos o recipientes de la planta, que en caso contrario resultaría en una letal explosión secundaria. Es por ello que se deben instalar dispositivos que eviten la propagación de la explosión de forma eficaz.

Los dispositivos de aislamiento pueden clasificarse en activos y pasivos.

##### ➤ **Dispositivos activos**

- *Válvulas de cierre automático que actúan previa detección de la explosión.*

Previene la propagación de presión y llamas. Se instalan en conductos con polvo, así como conductos de salida de elevadores etc.

- *Barreras de aislamiento químico HRD Antiexplosion barrera automática*

Con este dispositivo de protección es posible detectar y actuar sobre explosiones producidas en conductos. Para la detección de explosión es posible la utilización de detectores ópticos y/o de presión que mediante un sistema de control permite activar el sistema y así crear una barrera de agente extintor en el interior del conducto recto que impida el avance de la explosión.

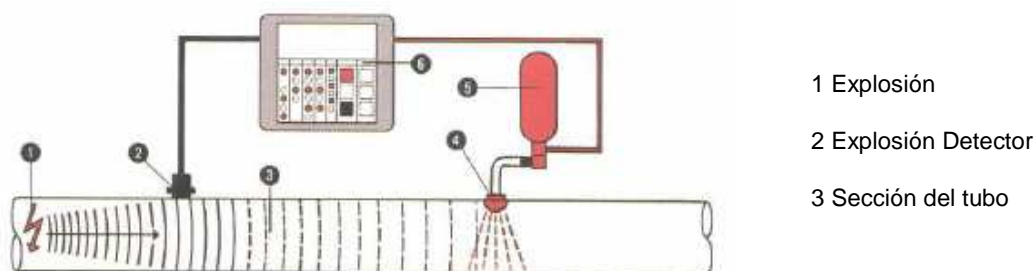


Figura 19: Barrera de aislamiento de explosión químico

➤ **Dispositivos pasivos**

- *Válvulas anti retorno de explosión*

El cierre es automático al producirse una explosión pues el avance de presión cierra una clapeta interior que evita el paso de llamas y presión al otro lado del conducto. Existen en el mercado válvulas unidireccionales y bidireccionales. Se instalan en conductos de aspiración localizada con baja concentración de polvo. Se ampliará la información de este tipo de válvulas en el segundo capítulo mientras que capítulos sucesivos se simulara y ensayara uno de los modelos especificados.



*Figura 20: Válvula anti retorno de explosión*

- *Válvulas rotativas y tornillos sinfín*

Es necesario el paro automático en caso de explosión. Contienen la propagación de presión y llamas ayudando a la protección de la instalación.



*Figura 21: Alimentadores de tornillo sinfín pueden actuar como aislamiento de explosión*



*Figura 22: Válvulas rotativas certificadas para aislamiento de explosión*

## 2. Válvulas de aislamiento

Las válvulas de aislamiento tienen la tarea de detener una propagación de presión y llama en un conducto durante una deflagración o explosión y de proteger los componentes de una instalación conectada. A continuación veremos diferentes tipos de válvulas de aislamientos aunque nos centraremos en la válvula de retención VEX **Válvula de aislamiento de explosiones Sistag**

La válvula de aislamiento de explosiones permite cortar las llamas y la presión de una explosión. Trabaja con 5-6 bares de aire comprimido seco de planta y puede trabajar tras su activación. En la foto se ven sistags instaladas horizontalmente. Ensayos de Gexcon en una válvula falla.



Figura 23: Válvula de aislamiento de explosiones Sistag

La válvula funciona en ambas direcciones, en caso de actuación la válvula esta inmediatamente lista para usarla después de un corto chequeo de funcionamiento.

### *Principio de funcionamiento*

La válvula es impulsada neumáticamente por un sistema integrado de presión de tanque de aire comprimido de 6 bar alimentado por la red de presión de la planta.

El tanque está equipado con una válvula de retención para evitar despresurización. Un esfuerzo interno se utiliza para aumentar la presión de 8 bar para válvulas con diámetro mayor de DN 250 o mayores. LA función de la válvula es poder comprobar en cualquier momento por medio de la textbox, esto confirma que el disco de la

válvula se mueve sin problemas, asegurando que se cierra de manera segura, correcta y en la escala de tiempos requerida en una explosión.

## **2.2 Aislamiento de explosiones con Ventex E/D/C**

Las válvulas ventex E-D-C aíslan de llamas y presión de explosión al activarse la válvula mediante la presión de explosión. Para líneas con menos de 50 g/m<sup>3</sup> de polvo. E= 1 sentido, D= 2 sentidos, C = válvula retención/chequeo



*Figura 24: Válvula de aislamiento de explosiones Ventex*

La válvula Ventex se utiliza para instalaciones en conductos situados entre los recipientes de proceso. Se puede utilizar para aplicaciones con polvos de clase St1, St2 y St3, gases y mezclas híbridas. En caso de una explosión la válvula cierra la conexión entre los conductos de una planta en unos pocos milisegundos. Por lo tanto la onda de presión y la explosión se detienen en consecuencia.

Este tipo de válvulas son principalmente instaladas en plantas diseñadas para la máxima presión de explosión, aunque también pueden utilizarse en plantas donde la explosión es reducida y puede causar daños a los componentes de la planta. Los tipos de un solo sentido se utilizan cuando el sentido de la posible explosión es conocido.

Las válvulas VENTEX se utilizan principalmente en tuberías de gas limpias, ya que se construyen de manera que los depósitos de productos dificultan su funcionalidad. Durante el funcionamiento



normal del material de transporte cruza la válvula, el asiento de la válvula interna se lleva a cabo en el medio de un resorte axial.

La elevación del tipo de válvula de retención solo se abre a través de la presión del material fluido, si la válvula no está en operación está cerrada pero no bloqueada.

Si hay una explosión, la expansión del flujo y la onda de presión de la válvula presionan sobre un asiento de goma de la válvula. Esta posición está bloqueada mecánicamente. La posición de la válvula abierta o cerrada se puede visualizar por medio de señales eléctricas. El cierre de la válvula puede reabrirse a través de un roset mecánico.

Las válvulas VENTEX-ESI-E/-C/-D están diseñadas para instalación horizontal, y las versiones ESI-EO/-EU/-DV/-CO/-CU están diseñadas para el montaje vertical dentro de un sistema de tuberías. ESI-D está diseñada para su uso en una explosión que puede ocurrir en ambos lados de la válvula. ESI-C está diseñada como control de elevación del tipo de la válvula.

Los términos adicionales O o U (abreviaturas en alemán) o bien una marca a la baja (O) o hacia arriba (U) el flujo de la explosión (montaje vertical).

El Cierre seguro de la válvula sólo se puede garantizar si la presión de explosión supera la presión de cierre mínimo de las válvulas de ESI Ventex.

Si un buque está protegido por un sistema de ventilación asegúrese de que la presión de activación del dispositivo de descarga superior a 50 mbar (DN 600 200 mbar).

### **2.3 Aislamiento de explosiones con Ventex P activada**

La válvula Ventex P aísla de llamas y presión de explosión mediante la detección de presión (MEX 3.2), y de llamas (IR13) de explosión (ver detección y control de explosiones). Para líneas con menos de 50 g/m<sup>3</sup> de polvo. En la foto 3 Ventex-P activadas



*Figura 25: Válvula de aislamiento de explosiones con Ventex P activada*

La válvula Ventex P se activa por la respectiva unidad de control del sistema de protección de explosión, este se utiliza para la instalación en los conductos situados entre los recipientes de proceso. Se puede utilizar para aplicaciones con los polvos de clase ST1 y ST2, gases y mezclas híbridas. En el caso de una explosión la válvula cierra el conducto de conexión entre los componentes de la planta respectiva dentro en unos pocos milisegundos. La presión de explosión de onda y por lo tanto la llama frontal se detienen.

La válvula Ventex P se utiliza si la instalación requiere que la válvula se monte muy cerca del peligro o con muy cortos tiempos de cierre necesarios, que no pueden ser satisfechos por otras válvulas Ventex cerradas por presión.

En condiciones normales de operación del material que se transporta a través de flujos la válvula, el asiento móvil de la válvula interna se encuentra en el vástago de un neumático cilindro y se mantiene en esta posición de apertura por medio de un mecanismo.

Si hay una explosión, ocurre una ignición en un generador de gas a través de una presión y / o un detector infrarrojo y una unidad de control. La presión de gas de los flujos entra en el cilindro neumático en unos pocos milisegundos. Esto presiona el asiento de la válvula cónica, que se encuentra en el pistón del vástago del cilindro neumático, o en la junta de vástago de la válvula que se encuentra en el cuerpo de la válvula.

Después de la explosión la válvula se puede restablecer en la posición abierta por medio de un sistema de control o con la mano. Esta válvula opera por un generador de gas y es apta para su instalación en tuberías de cualquier instalación y posición. La válvula Ventex P es adecuada para su uso en tuberías con un bajo contenido de polvo. Cuando la válvula se va a instalar en tuberías que contienen un alto contenido debe consultarse primero con el fabricante.



## 2.4 Válvula de aislamiento VEX

### 2.4.1 Descripción

Numerosos procesos pueden causar explosivos de polvo / aire dentro de los sistemas industriales (es decir, colectores de polvo, la mezcla de máquinas, granulador de lecho fluido, molinos, etc.) Si las fuentes de ignición no pueden ser excluidas debido a las condiciones del proceso, estos sistemas a menudo están equipados con medias de protección constructivas contra explosiones tales como el alivio de la presión o la supresión de la presión, en este tipo de aislamiento, los conductos de trabajo conectados están desacoplados de los contenedores a proteger para que las llamas y la presión de explosión no puedan ser transferidos.

La clapeta de contrapresión está certificada como sistema de protección de acuerdo con la UE Guía 94/9/CE (ATEX 95) y esta aprobada para el desacoplamiento de las explosiones de polvo de materia orgánica y polvos inorgánicos

Un ejemplo de aplicación de un sistema de escape que está equipado con una válvula de alivio de la presión de explosión podría ser el siguiente:

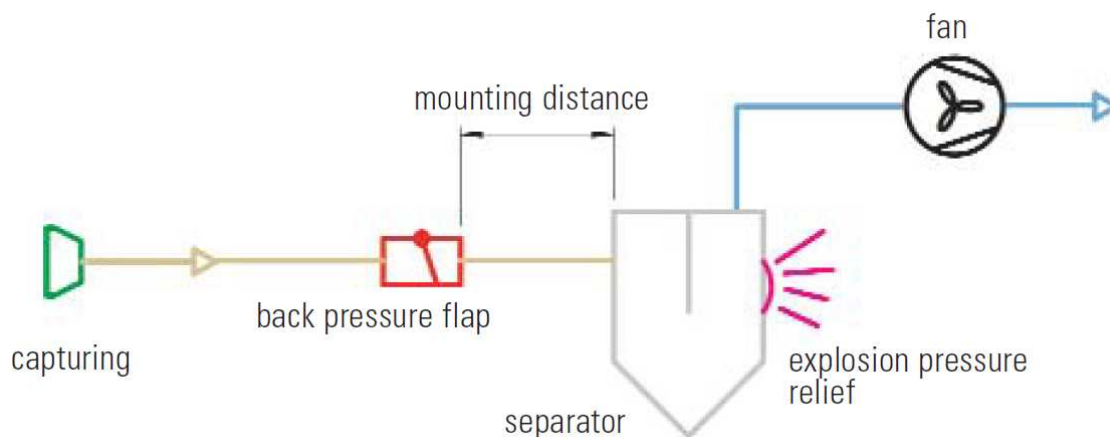


Figura 26: Ejemplo de aplicación de un sistema de alivio de explosión

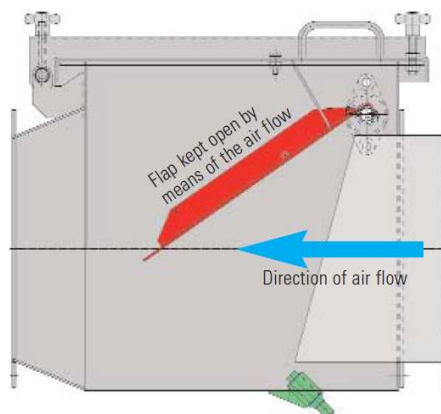
#### 2.4.1.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN

El desacople de explosión aguas debajo de los separadores de polvo seco puede darse:

- Cuando se muele con fibra de vidrio reforzada
- Para la industria química y farmacéutica
- Para la industria de la madera
- Para los polvos de barniz
- Para las instalaciones de los secadores, separadores de aire, molinos, silos, molinos de lecho fluidizado, etc.

#### 2.4.2 Operación

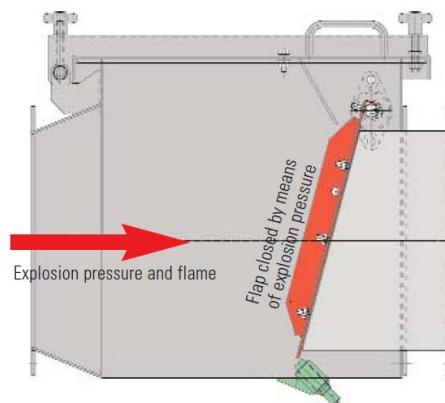
##### 2.4.2.1 FUNCIONAMIENTO NORMAL



*Figura 27: Funcionamiento normal válvula VEX*

Durante la operación, la clapeta de contrapresión montada aguas abajo se mantiene abierta por medio del flujo de aire. En reposo, la clapeta se cierra por su propio peso. Cuando el sistema se inicia, la apertura de la tapa está amortiguada por un elemento de amortiguación.

## 2.4.2.2 EN CASO DE EXPLOSION



*Figura 28: válvula VEX en caso de explosión*

En el caso de una deflagración o explosión en algún componente de la instalación, donde la Válvula de Retención está acoplada, se produce una expansión del gas y con esto un aumento de la resistencia al flujo que tiene como consecuencia una parada de la corriente en la clapeta. Mediante este estado se cierra la clapeta. En caso de continuar la deflagración o la explosión en el próximo equipo conectado se distribuye la onda de deflagración u onda explosiva contra la dirección de la corriente.

La clapeta que se ha cerrado repentinamente en la Válvula de Retención detiene la próxima diseminación de la onda de presión o llama. El componente de la instalación conectado previamente se encuentra desconectado a la presión y la llama.

El elemento de amortiguación impide que la clapeta pueda abrir poco después de una explosión debido a la presión que aparece.

## 2.4.2.3 FUNCIÓN DE MONITORIZACIÓN

Para ampliar los intervalos de inspección de la opción de monitorización se dispone de un sensor integrado y un sensor de desgaste para monitorizar el control de posición de la clapeta, el desgaste de la tapa y la operación de cierre.

En el desarrollo de los sensores de vigilancia, se está estudiando el posicionamiento ideal de los sensores para que la señal no sea falseada por el flujo del aire, para ello se utilizan sistemas de simulación como los reflejados en las siguientes figuras:

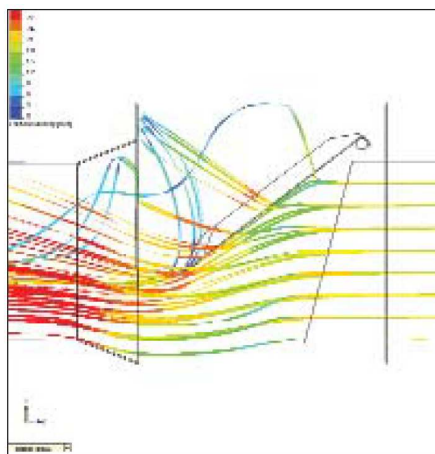


Figura 29: Velocidad del flujo de aire (Rojo: >30m/s)

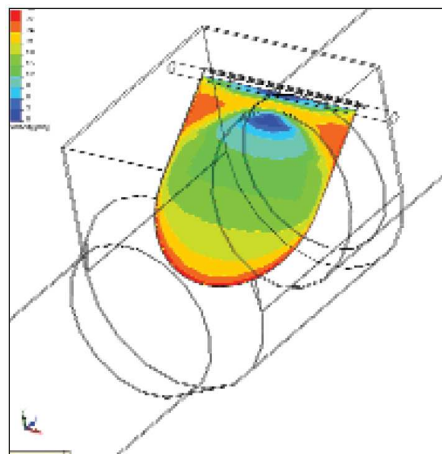


Figura 30: Distribución de la velocidad en la superficie de la clapeta

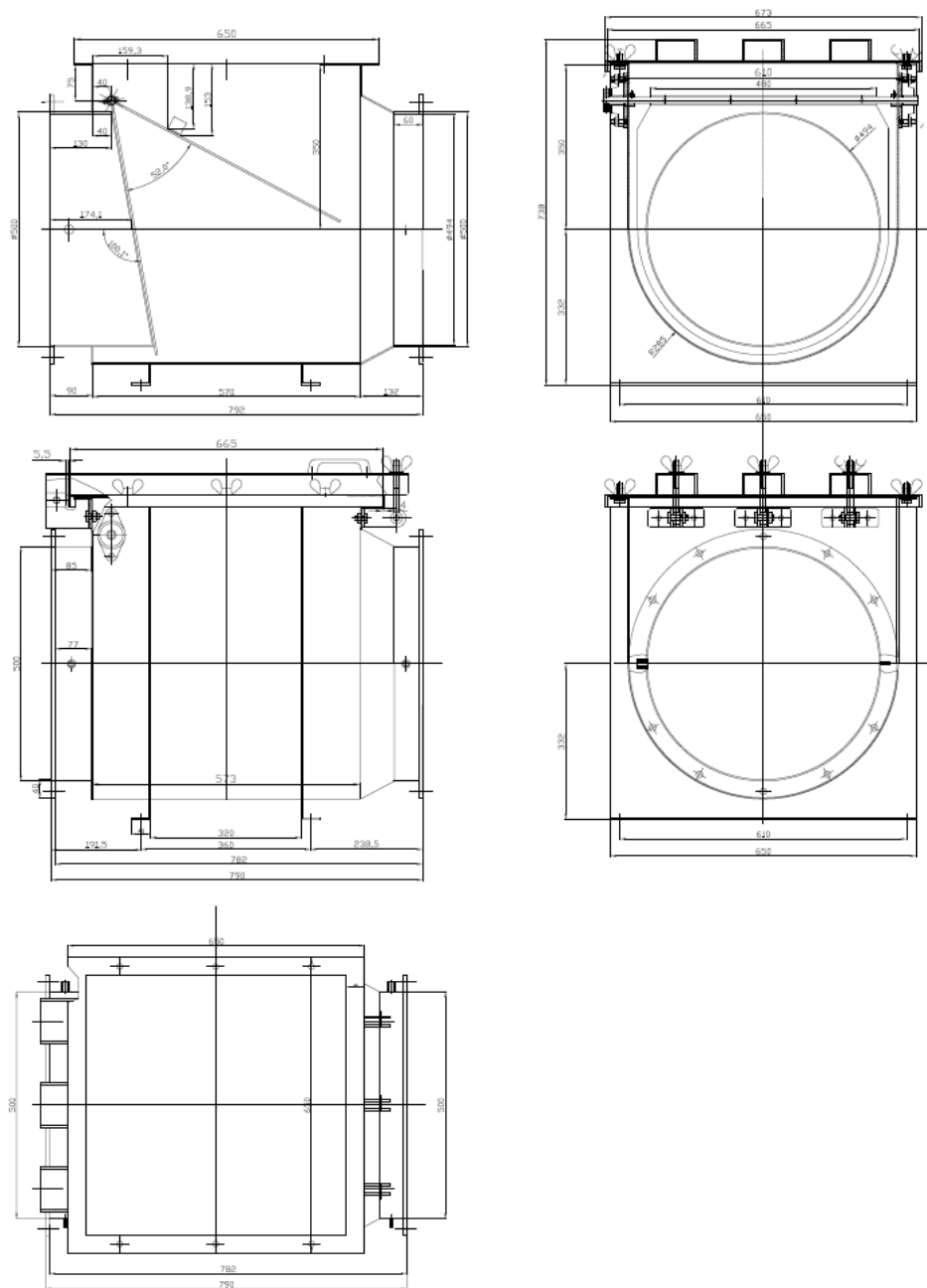
### 2.4.3 Instrucciones de montaje y mantenimiento

La Válvula de Retención se debe montar de acuerdo a la dirección fija y de manera horizontal y de manera cercana al próximo componente conectado en serie de la instalación.

Cabe destacar que por normativa, la tubería entre el próximo componente de la instalación conectado y la Válvula de Retención debe ser de 2 m.

En la Válvula de Retención se debe controlar de tiempo en tiempo la suavidad de la clapeta y la integridad de la junta. Además se debe controlar la tapa en búsqueda de suciedad del producto y en caso de ser necesario se debe limpiar. El control de los puntos arriba mencionados se debe realizar semanalmente.

En los siguientes planos podemos observar las diferentes vistas de la válvula de aislamiento de explosiones obtenida al final de este proyecto y que se está comercializando a un precio aproximado de 3650€.



*Figura 31: Planos de la válvula a comercializar*

### 2.4.5 Fotografías

En las siguientes fotografías podemos observar la apariencia real de la válvula de aislamiento de explosión terminada y en algunas de las instalaciones en las que se ha instalado.



*Figura 32: Fotografías de la válvula VEX a comercializar*

# ***CAPÍTULO DOS: METODOLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN DE LA VÁLVULA DE AISLAMIENTO VEX***

### 3. Introducción

A continuación y para hacernos una idea global del desarrollo, se muestra un diagrama de bloques en el que se reflejan las diferentes etapas de las que se compone este proyecto.

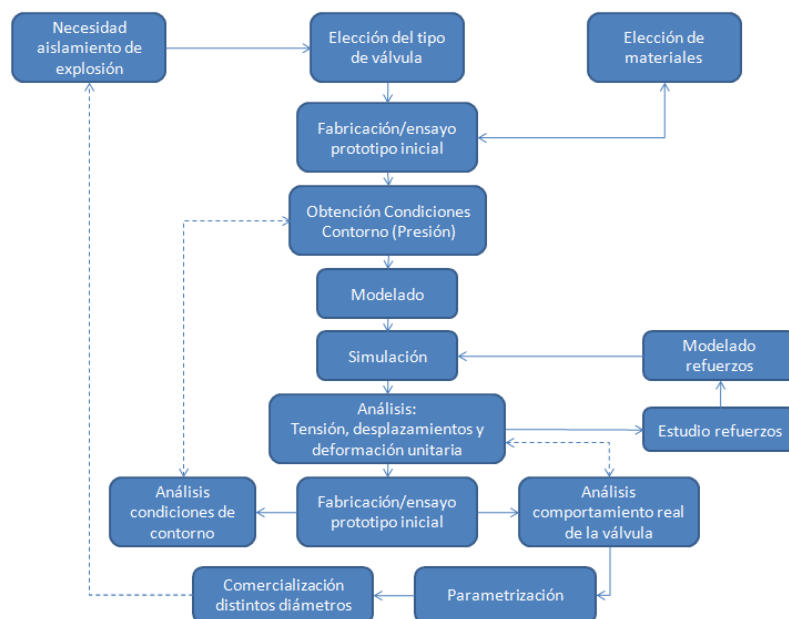


Figura 33: Diagrama de bloques del proyecto

Cabe destacar que para la simulación de la válvula de aislamiento se ha utilizado el programa Solidworks 2007, programa que teníamos disponible en el departamento de mecánica de la universidad Carlos III de Madrid, por su parte para simular los prototipos modelados con SolidWorks hemos utilizado CosmosWorks herramienta del programa citado anteriormente. Por otro lado para el ensayo experimental se ha utilizado DASYLAB programa utilizado para este tipo de ensayos. A continuación pasamos a detallar la metodologías utilizadas para las diferentes fases del proyecto.



### **3.1 Solid Works 2007**

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico, que usa el kernel de modelado geométrico Parasolid (Núcleo que pertenece a Siemens PLM Software, desarrollador de Solid Edge y de NX). Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

La empresa SolidWorks Corp. fue fundada en 1993 por Jon Hirschtick con su sede en Concord, Massachusetts<sup>[2]</sup> <sup>[3]</sup> y lanzó su primer producto, SolidWorks 95, en 1995. En 1997 Dassault Systèmes, mejor conocida por su software CAD CATIA, adquirió la compañía. Actualmente posee el 100% de sus acciones y es liderada por Jeff Ray.

### **3.2 CosmosWorks 2007**

Para esta tercera parte se ha utilizada el programa COSMOSWorks 2007, una aplicación de Solidworks para la validación de diseños y para mejorar la calidad de los productos identificando las áreas que son más susceptibles de fallos y deficiencias. Con solidworks pueden estudiarse diferentes configuraciones de diseño elegir el diseño óptimo para la producción final. Otras utilidades de CosmosWorks son, estudiar la interacción entre diferentes componentes de un ensamblaje proporcionando potentes herramientas para estudiar y optimizar los ensamblajes de todos los tamaños, unir componentes separados por espacios o márgenes, sin efectuar modificaciones, identificar fuerzas de contacto, tensiones y fricción para las piezas que podrían entrar en contacto durante el funcionamiento, simular las condiciones de funcionamiento reales incluyendo muchos tipos de cargas y restricciones para representar situaciones reales, aplicar cargas de apoyo, fuerzas, presiones y pares de torsión, simular los efectos de las fuerzas de gravedad o las fuerzas debidas a la rotación, automatizar las tareas de análisis, calcular el mallado de piezas y ensamblajes con las herramientas de mallado personalizadas y las herramientas de diagnósticos de mallado incompleto, conseguir soluciones precisas mediante el refinado automático de malla y/o el aumento del tamaño de la malla en áreas locales, interpretar los resultados de los análisis con unas herramientas de visualización. Cuando el análisis se haya completado, las herramientas de visualización de resultados le permiten obtener conocimientos del comportamiento de los modelos, estudiar la distribución numérica de los resultados con trazados de contorno en 3D (tensiones, deformaciones unitarias, desplazamientos, energía, energía de deformación unitaria, densidad y fuerza de reacción), determinar el factor de seguridad utilizando el

Asistente para Verificación de diseño o investigar la eficacia de su diseño.

### ***Método de elementos finitos***

El método de los elementos finitos o diferencias finitas (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) —sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema— en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «malla».

Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Típicamente el método de los elementos finitos se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (mecánica de fluidos computacional, CFD) o de campo electromagnético. Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia en la práctica ingenieril los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa práctica de cálculo.

Una importante propiedad del método es la convergencia; si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas, la solución numérica calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones.

### ***Historia***

El análisis de elementos finitos desde su enfoque matemático fue desarrollado en 1943 por Richard Courant, quien usó el Método de Ritz del análisis numérico y el cálculo variacional para obtener soluciones aproximadas para sistemas oscilatorios. Desde un punto de vista ingenieril, el análisis de elementos finitos se origina como el método de análisis estructural de matrices de desplazamiento, el cual surge luego de varias décadas de investigación, principalmente en la industria aeroespacial inglesa, como una variante apropiada para computadores. Para finales de los años de la década de 1950, los

conceptos claves de matriz de rigidez y ensamble de elementos existe en las formas como se conocen hoy en día, la demanda de la NASA repercutió en el desarrollo del software de elementos finitos NASTRAN en 1965.

### ***Qué es el Método de los Elementos Finitos***

El MEF consiste en un modelo informático del material o diseño que es tensado y analizado para conseguir resultados específicos. Es usado en el diseño de nuevos productos, y en la mejora de los actuales. Una empresa capaz de verificar un diseño propuesto será capaz de ajustarse a las especificaciones del cliente antes de la fabricación ó construcción. Modificando un producto o estructura existente es utilizado para calificarlo para unas nuevas condiciones de servicio. En caso de fallo estructural, el MEF puede ser usado para ayudar a determinar el diseño de las modificaciones para ajustarse a las nuevas condiciones.

Hay generalmente dos tipos de análisis que son usados en la industria: modelos en 2D y en 3D. Mientras los modelos en 2D conservan la simplicidad y permiten que el análisis se realice en un ordenador normal, tiende a dar resultados menos precisos. El modelado en 3D, sin embargo, producen resultados más precisos mientras sacrifica la habilidad para funcionar de manera efectiva en cualquier ordenador, menos en los más rápidos. Con cada de estos esquemas modelados, el programador puede insertar numerosos algoritmos ó funciones que pueden hacer al sistema comportarse de manera lineal o no lineal. Los sistemas lineales son menos complejos y normalmente no tienen en cuenta deformaciones plásticas. Los sistemas no lineales toman en cuenta las deformaciones plásticas, y algunos incluso son capaces de testear el material hasta la fractura.

El MEF es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales. Para ello trabaja discretizando la estructura en elementos de forma variada (pueden ser superficies, volúmenes y barras), que se conectan entre sí mediante “nodos”. La solución ahora es sólo aproximada en función de los resultados obtenidos para los nodos. El MEF parte del cálculo matricial en el planteamiento del equilibrio en los nodos mediante un sistema de ecuaciones resultado de la contribución de los elementos.

### ***Como trabaja el Método de los Elementos Finitos***

El MEF usa un complejo sistema de puntos llamados nodos que hacen una red llamada malla. Esta malla está programada para contener el material y las propiedades de la estructura que definen como esta reaccionará ante ciertas condiciones de carga. A los nodos se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de estrés anticipado en un área. Las regiones que recibirán gran cantidad de estrés tienen normalmente una mayor densidad de nodos (densidad de malla) que aquellos que experimentan poco o ninguno. Puntos de interés consisten en: puntos de fractura previamente testeados del material, entrantes, esquinas, detalles complejos, y áreas de elevado estrés. La malla actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un elemento de malla a cada nodo adyacente. Este tipo de red vectorial es la que lleva las propiedades del material al objeto, creando varios elementos.

Básicamente los pasos a seguir en el análisis de estructuras mediante el método de los desplazamientos a través del MEF son:

- 1. El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de pre proceso.

- 2. Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o “nodos”, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.
- 3. Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento.

Por ejemplo el campo de desplazamientos dentro de un elemento lineal de dos nodos podría venir definido por:  $u = N_1 u_1 + N_2 u_2$ , siendo  $N_1$  y  $N_2$  las funciones comentadas (funciones de forma) y  $u_1$  y  $u_2$  los desplazamientos en el nodo 1 y en el nodo 2.

- 4. Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.
- 5. Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma  $F = k \cdot u$ , que como vemos es similar a la del cálculo matricial.
- 6. La resolución del sistema anterior permite obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.
- 7. En la etapa de pos proceso se presentan los resultados, generalmente de forma gráfica para su análisis.

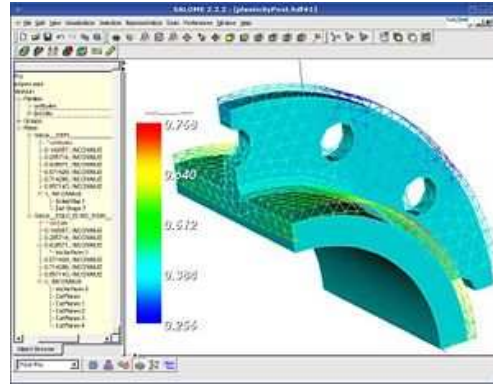


Figura 34: MEF.

### **Tensión de Von Mises**

Cabe destacar que para analizar la tensión absorbida, en el análisis por el método de elementos finitos realizado por el simulador COSMOSWorks, se ha utilizado la tensión de Von Mises que es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión, esta tensión en ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

La tensión de Von Mises puede calcularse fácilmente a partir de las tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable, mediante la expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Siendo  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , la tensiones principales, y habiéndose obtenido la expresión a partir de la energía de distorsión en función de las tensiones principales:

$$E_{def, dist} = \frac{1}{6G} \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]$$



La tensión de Von Mises y el criterio de fallo elástico asociado debe su nombre a Richard Edler von Mises (1913) propuso que un material dúctil sufría fallo elástico cuando la energía de distorsión elástica rebasaba cierto valor. Sin embargo, el criterio fue claramente formulado con anterioridad por Maxwell en 1865 más tarde también Huber (1904), en un artículo en polaco anticipó hasta cierto punto la teoría de fallo de Von Mises. Por todo esto a veces se llama a la teoría de fallo elástico basada en la tensión de Von Mises como teoría de Maxwell-Huber-Hencky-von Mises y también teoría de fallo  $J_2$ .

Cabe destacar que este proyecto se ha basado en la teoría de fallo descrita anteriormente.

## **4. Metodología del ensayo experimental**

Para la realización de los ensayos experimentales se han utilizado las instalaciones de Adix Ingeniería en la localidad de Tomelloso (Ciudad Real). Cabe destacar que realizaremos varios ensayos, en primer lugar realizaremos utilizaremos una válvula antiexplosiones bastante robusta con el único objetivo de conocer los valores de presión a los que nos enfrentamos. Tras el estudio de los diferentes refuerzos y cuando tengamos unos valores de deformación/tensión admisibles procederemos de la misma manera a simular un prototipo de la válvula antiexplosiones modelada. Cabe destacar que este tipo de ensayos están regulados por la norma CEN/TC 305.

### **4.1 Descripción de los equipos para ensayos.**

Para la realización de los ensayos se va a utilizar un recipiente de explosiones, en el cual se instalará una tubería al final de la cual colocaremos la válvula de retención a ensayar.

Una vez colocado el acople necesario para la válvula a ensayar, se monta dicha válvula, con su correspondiente junta para evitar pérdidas de presión.

En la siguiente figura se muestra una fotografía tomada del ensayo de explosión con la válvula de retención inicial antes de la explosión. Cabe destacar que en la parte posterior del recipiente de explosiones existiría un ventilador que simularía el flujo de material que mantendría abierta la clapeta. Sin embargo, para asegurar que la válvula se mantenga abierta se ha colocado un pequeño trozo de poliespan que será despedido al comienzo de la explosión.



*Figura 35: Fotografía tomada del ensayo inicial*

A continuación detallaremos los elementos necesarios para la realización del ensayo experimental.

En primer lugar el recipiente de explosiones de 6.000 litros mostrado a continuación está fabricado en acero al carbono y tiene las correspondientes entradas para la utilización de todas las sondas necesarias para la realización de los ensayos. Cabe destacar que el recipiente de explosiones consta de un habitáculo, el cual en su parte lateral tiene unas bridas, en las cuales se montan los acoples para distintos tamaños de tuberías. Estos acoples van situados en la parte abierta y siempre se pone una junta entre el acople y el recipiente para evitar errores debidos a pérdidas de presión.



*Figura 36: Recipiente de explosiones*

Estas sondas están conectadas también al equipo de adquisición de datos mostrado a continuación, y este a su vez al ordenador, en el cual se ejecuta el programa en DASYLAB que detallaremos a continuación y que va a ser el encargado del desarrollo del ensayo.



*Figura 37: Equipo de adquisición de datos*

Por otro lado para la generación de la nube de polvo necesaria para la creación de la atmosfera explosiva se necesitaran cuatro extintores cargados de 1 kg de harina o almidón y presurizados a 20kg como los mostrados en la figura, estos extintores poseen una electroválvula para la apertura comandada desde el ordenador, por ello también será necesario un compresor para suministrar el aire comprimido necesario.



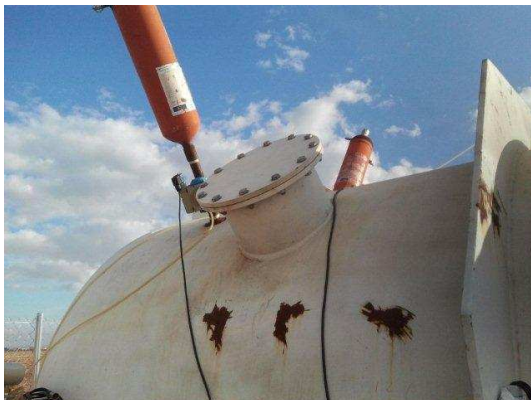
*Figura 38: Extintores generadores de nube de polvo*

Por su parte tras la generación de la nube de polvo necesitaremos algún dispositivo que provoque la ignición, esta será creada por una cerilla industrial como la de la figura.



*Figura 39: Cerilla industrial*

Por último cabe destacar que el recipiente de explosiones posee un panel de venteo por el cual se aliviará la presión tras el cierre de la válvula. La apertura del depósito y una imagen del alivio de la explosión representativa de su funcionamiento se muestran a continuación. Este tipo de paneles son otro tipo de equipos de protección citados en el primer capítulo.



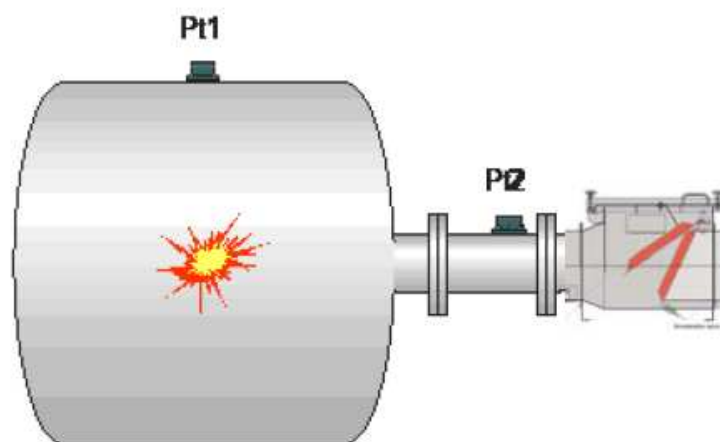
*Figura 40: Panel de venteo del recipiente de explosiones*

## 4.2 DASYLAB

La ejecución y el control de los ensayos se realiza con un software específico, el DasyLab 7, desde un ordenador y a través de una tarjeta de comunicación DaqBoard 2000, a la cual están conectadas dos tarjetas más, una de resistencias de 240 ohm, y otra de relés, la DBK-25, que es la tarjeta encargada de ejecutar las órdenes de inicios y finales en los tiempos de medición, de efectuar la señal de apertura de los depósitos de harina y de efectuar la señal de ignición que origine la explosión.

En el depósito de ensayo están dispuestas dos sondas de presión con diferentes rangos y características, más una de temperatura:

- Wika S-10 - Sonda de presión estática. Instaladas en el depósito de ensayo El rango de medición es de 0 a 1 bar, son alimentadas por unas fuentes de 12 VDC y la señal que emiten también es de 4 a 20 mA, con lo cual, también hay que colocar una resistencia de 240  $\Omega$  entre los polos para convertirla en 0 a 5 VDC. La ficha técnica de la sonda de presión se muestra en el anexo. La colocación de estos sensores está regulada según la norma CEN/TC 305 y se muestra en el siguiente esquema.



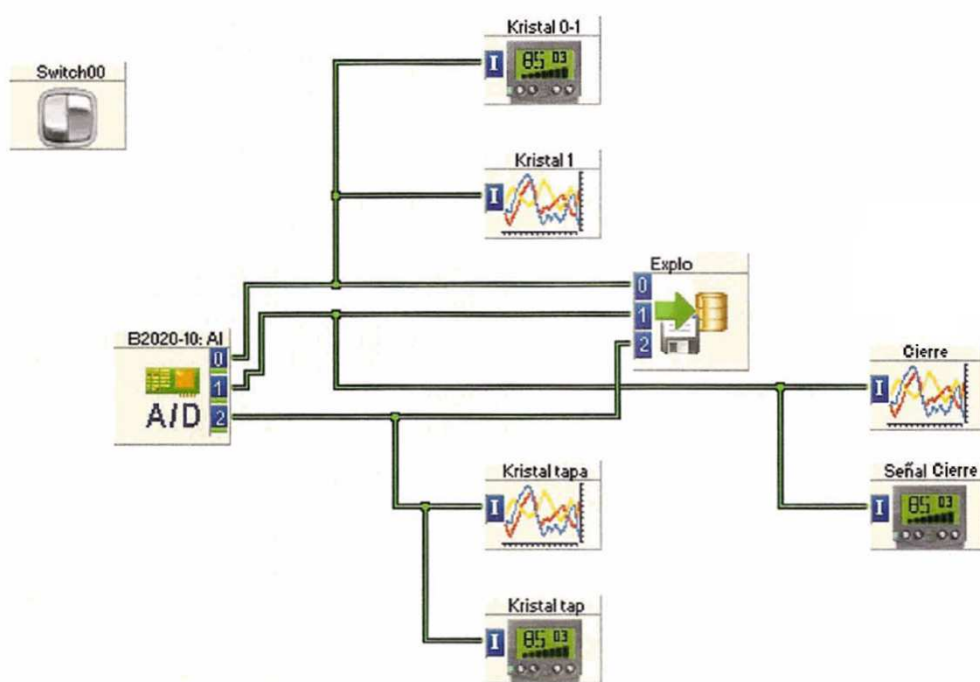
*Figura 41: Esquema general del programa de ensayo en DasyLab.*

Para la realización de los ensayos se necesita aire comprimido para la apertura de las electroválvulas, los depósitos de harina tienen instalada una válvula proporcional ASCO, alimentada por una fuente de 24 VDC y comandada a través de un PLC. Su funcionamiento consiste en la apertura de la válvula para la generación de la nube de polvo combustible.

#### 4.2.1 **Diseño del sistema de ensayo mediante DASYLAB**

El objetivo es desarrollar un sistema que permita la obtención de los datos de presión de cierre de la válvula y tiempo al que se produce el citado cierre de forma automática. El diseño de dicho sistema se realiza en el programa DasyLab.

El programa DasyLab trabaja mediante módulos, los cuales tienen una función distinta. El esquema general del programa utilizado para los ensayos es el que se muestra a continuación:



*Figura 42: Esquema general del programa de ensayo en DasyLab.*

En la figura siguiente podemos ver como el sistema está formado por una serie de módulos que son los encargados de

procesar los datos, a continuación se explica brevemente cual es la función de cada uno de ellos:

#### 1) Entrada de Señal:



Mediante este módulo tomamos la señal de muestra de la tarjeta de adquisición DBK 25. Estamos tomando una entrada analógica dada por la tarjeta, en voltios. Obtenemos también los datos de las diferentes sondas de presión y cierre de la válvula.

#### 2) Interruptor on/off:



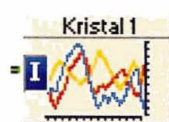
Mediante este módulo iniciamos en comienzo del ensayo y la parada del mismo. Con el decimos cuando queremos empezar a tomar datos y cuando se concluye el ensayo.

#### 3) Valor de la presión de cierre de la válvula de aislamiento:



Mediante este módulo visualizamos la evolución de la presión en función del avance del ensayo. Cuando activamos el interruptor, este módulo comienza a dar los datos de presión en cada instante y son visualizados en la pantalla del ordenador.

#### 4) Curva Presión:



Mediante este módulo visualizamos la curva que va siguiendo la presión en función del tiempo. Esta se observa en la pantalla del ordenador y nos muestra como varia la presión en función del tiempo y también cuando se produce la caída repentina de presión.

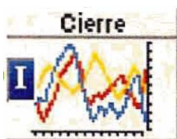
#### 5) Guardar los datos:





Mediante este módulo se están guardando los datos de presiones, tiempo y cierre de la válvula en el formato que se especifique en el módulo. En nuestro caso y para el ensayo vamos a guardar todos los datos en Diadem, para que luego podamos visualizarlos en dicho programa.

#### 6) Curva cierre de la válvula:



Mediante este módulo se está visualizando la curva de cierre de la válvula en función del tiempo. Esta señal nos la da el detector inductivo colocado en el eje de la clapeta y a la tarjeta de adquisición de datos, las características de este sensor se detallan en el anexo. Cuando se produce el cierre, en la curva se observa una caída y ese será el momento de cierre de la válvula en el ensayo.

#### 7) Visualización tiempo de cierre de la válvula:



Mediante este módulo se visualiza el tiempo al cual se produce el cierre, este módulo esta unido al de la curva de rotura y cuando esta presenta una caída repentina este toma el tiempo al cual se ha producido el cierre de la válvula.

#### 8) Visualización Presión estática de cierre:



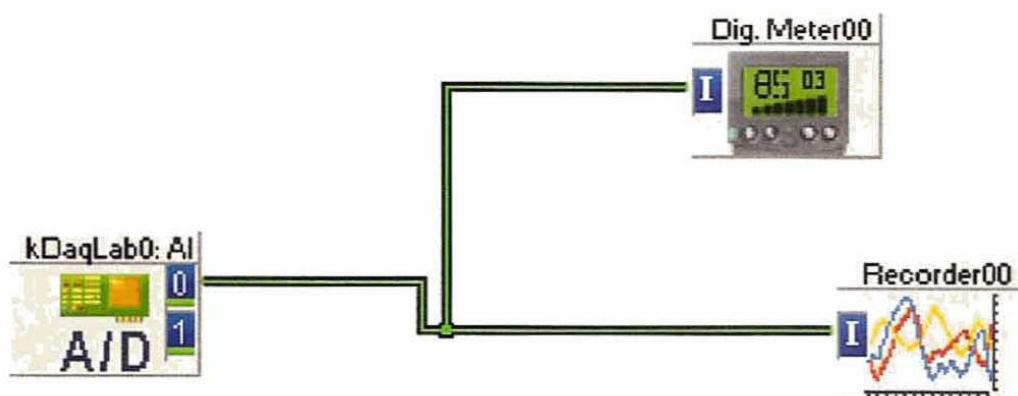
Mediante este módulo estamos visualizando los valores de presión estática durante el ensayo y como varía en función del tiempo o duración del ensayo.

#### 9) Presión estática del interior de la válvula:



Mediante este módulo estamos visualizando los valores de presión estática durante el ensayo y la presión estática en el momento del cierre de la válvula cuando se observa una caída repentina de esta.

Para la calibración de las sondas utilizadas para la adquisición de datos, utilizamos otro programa en DasyLab, mediante el cual comprobamos el funcionamiento de estas. El programa utilizado para las pruebas de calibración de las sondas es el que se muestra a continuación.



*Figura 43: Programa para la calibración de las sondas*

En la figura anterior podemos ver como el sistema está formado por una serie de módulos que son los encargados de procesar los datos. A continuación se explica brevemente cual es la función de cada uno de ellos:

#### 1) Señal de entrada:



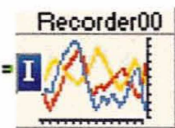
Mediante este módulo estamos tomando los valores de adquisición de las sondas por medio de la tarjeta DBK25. A través de este módulo podemos identificar y graficar los valores que están tomando las sondas.

#### 2) Visualización de datos:



Mediante este módulo estamos visualizando los distintos valores de las sondas como son tiempo y presión estática. Si los valores obtenidos coinciden con los dados por el calibrador, las sondas se considerarán calibradas.

### 3) Curva de Datos:



Mediante este módulo estamos graficando los valores de las distintas sondas en función del tiempo y con ello sabemos si se corresponde con los valores obtenidos por el calibrador.

#### 4.2.2 **Descripción del ensayo.**

Este ensayo sirve para verificar el comportamiento de la válvula ante una posible explosión y para testar la presión máxima a la que cierra la válvula.

El ensayo se ejecuta a través de un PLC, al cual se conecta en la entrada, la señal de 4 a 20mA que envía la sonda de presión, alimentada a 12 VDC. En la salida del PLC se conecta el pilotaje de la cerilla industrial, ya que esta se alimenta directamente de una fuente de 24 VDC, es decir, en el conector de la bobina de la válvula, en 1 se conecta +24 VDC, en 2 0 VDC y en el 3 la señal del PLC en mA (4-20). Esta señal de pilotaje se origina porque la sonda de presión estática Wika S-10 manda su señal de medición a la válvula proporcional a través del autómata.

El inicio del ensayo se realiza desde un ordenador conectado al PLC, cuando se pulsa start en el programa de DasyLab, comienza la toma de datos, se produce la apertura de las electroválvulas, la formación de la nube de polvo y se efectúa la ignición, la sonda w-10 va enviando datos de la presión existente al PLC.

El momento de cierre de la válvula de aislamiento queda registrado en el autómata, al ser el valor pico del ensayo. Todos los datos se quedan guardados en el PLC con una frecuencia de 150.000 muestras/seg y se descargan automáticamente en el software DIADem para su posterior análisis.

#### 4.2.3 ***Procedimiento para la realización del ensayo.***

Los pasos a seguir para la realización del ensayo de la válvula de retención son los siguientes:

1) Realización del programa para la ejecución del ensayo. El programa se hará en DASYLAB para que desde el ordenador podamos, mediante un sistema de adquisición de datos manejar los tiempos de duración del ensayo, el encendido y apagado, así como la visualización de resultados.

2) Preparar el depósito donde se realizará el ensayo, observar que no se producirán escapes de aire, para ello sellar si es posible las juntas de las bridas con junta sellante. Colocar el acople adecuado para el tamaño de conducto que se va a ensayar.

3) Colocar brida y válvula que se quiera ensayar en la apertura del depósito y poner en la apertura superior del recipiente de explosiones un plástico un poco suelto para conseguir que no se escape aire hasta después de la explosión.

4) Conectar todo el cableado:

- Cable de señal de cierre de la válvula: desde el eje de la clapeta hasta la tarjeta de relés (DBK 25)
- Sondas de presión: conectadas desde la parte inferior del depósito hasta la tarjeta de relés (DBK 25)
- Cable a tierra desde la tarjeta de relés (DBK 25)
- Cable desde la tarjeta de relés hasta el ordenador (cable de red)

5) Conectar la manguera de aire a los depósitos de harina encargados de generar la nube de polvo combustible y cargar el compresor para que tenga presión.

6) Comenzar el ensayo, para ello abrir el documento DASYLAB del ensayo y darle a play para realizar el ensayo. En primer lugar se realizará la apertura de las válvulas encargadas de generar la nube de polvo combustible e inmediatamente después se producirá la ignición generada por la cerilla industrial

7) Los datos quedaran guardados en formato DIADEM por el programa DASYLAB.

### **4.3 CheckList del ensayo**

Antes de comenzar el ensayo resulta muy importante comprobar estos doce puntos.

1. El equipo de adquisición de datos debe estar sin conexión a la corriente.
2. Comprobar que el compresor de aire comprimido debe estar con corriente, con presión suficiente y conectado a las cuatro electroválvulas del recipiente de explosiones.
3. Comprobar que las cuatro electroválvulas están enchufadas a la corriente.
4. Comprobar que las cuatro electroválvulas de los depósitos de polvo combustible están en posición CLOSE.
5. Comprobar que la cerilla industrial está conectada y en la posición correcta.
6. Colocación de panel de venteo en el lateral del recipiente de explosiones.
7. Comprobar que la clapeta de la válvula de aislamiento está en posición abierta.
8. Cargar los cuatro depósitos de polvo combustible con Harina (1kg/botella)/almidón (750g/botella).
9. Presurizar los cuatro depósitos de polvo combustible con 20KG de presión.
10. Colocar los diferentes sensores de presión y temperatura y conectarlos al equipo de adquisición de datos.
11. Dar corriente al equipo de adquisición de datos y proceder con el inicio del ensayo.

#### 4.4 Resultados primer ensayo experimental

A continuación se muestra la apariencia del programa DIADEM en la que el programa DASYLAB ha grabado los datos, se muestran valores de presión de los diferentes sensores y de tiempo.

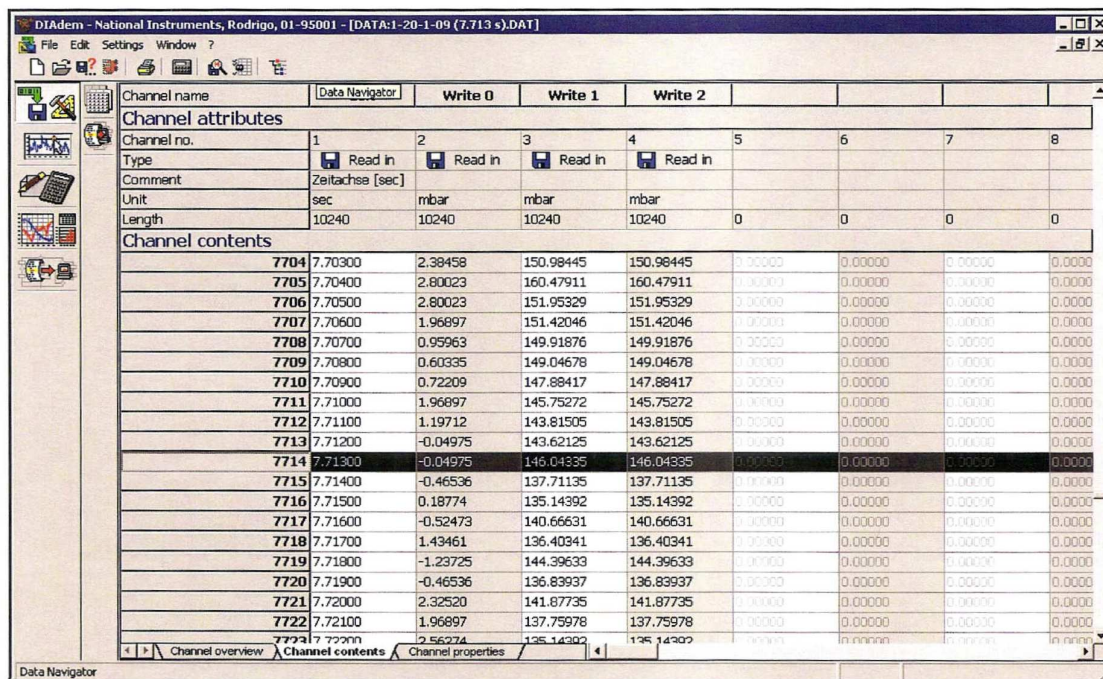


Figura 44: Pantalla DIADEM con los datos del ensayo inicial

Estos datos han sido trasladados a Microsoft Excel para la obtención de las siguientes graficas.

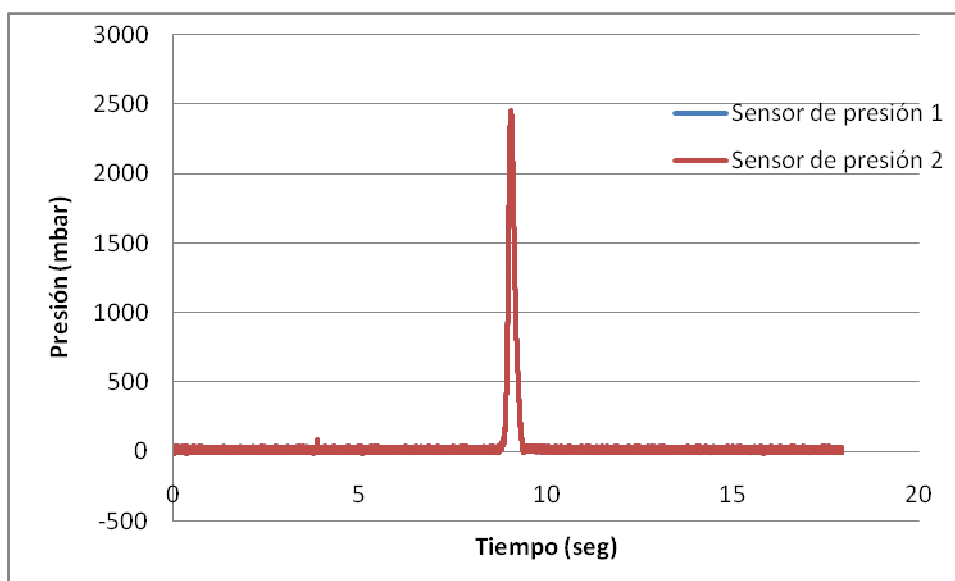
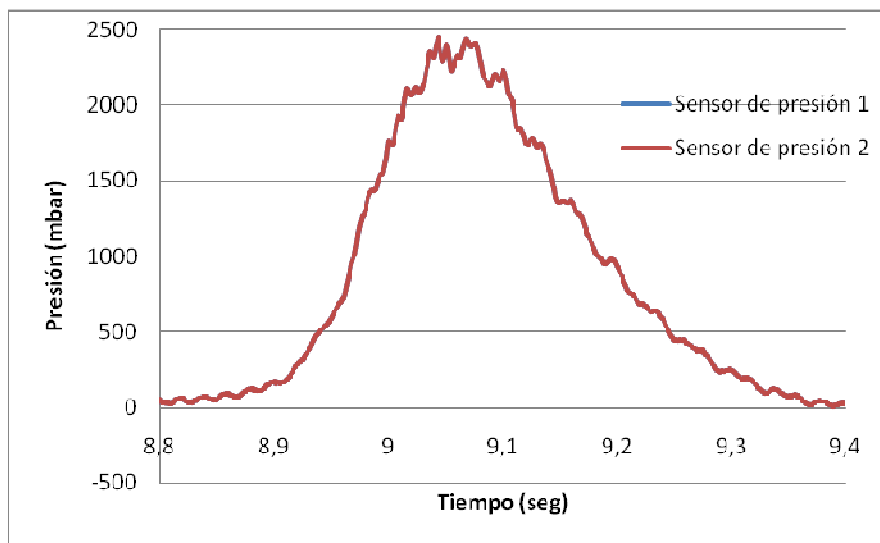


Figura 45: Gráfico de presiones obtenidas en el ensayo inicial

A continuación se detallan la escala de tiempos entre 8,8 y 9,4 segundos para observar la presión máxima alcanzada.



*Figura 46: Máxima presión del ensayo inicial*

En la anterior imagen observamos que el máximo valor de presión obtenido son 2447,94 milibares, presión que utilizaremos en COSMOSWorks para la simulación de los diferentes prototipos modelados.



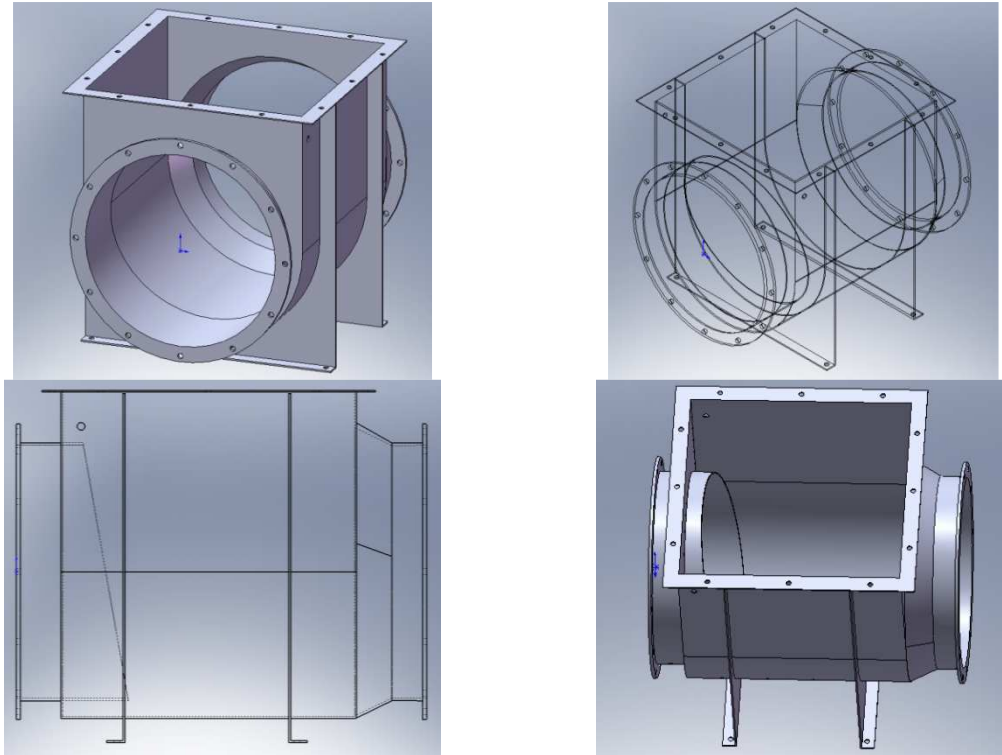
## **5. Proceso de modelado**

A continuación se muestran una serie de imágenes que nos indica el aspecto del modelado inicial, antes de introducir refuerzos, de todas las piezas de la válvula de aislamiento. Se han desarrollado con el programa SolidWorks 2007 y para ello se han utilizado operaciones como extrusión, revolución, barrido, cortes, vaciados, chaflanes, redondeos y operaciones de simetría. Estos prototipos serán ensayados en el siguiente capítulo.

### **5.1 Piezas modeladas**

#### **5.1.1 *Cuerpo de la válvula de retención***

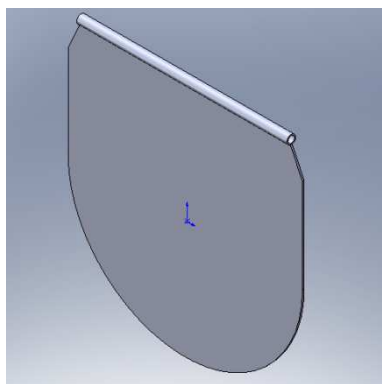
El cuerpo de la válvula ha sido construido a partir de planchas de acero de 3mm. Como detalles principales del cuerpo de la válvula podemos destacar las bridas de unión al conducto, que en nuestro caso será de diámetro interior 500mm con 12 taladros de 14 mm en cada una de las dos bridas. Por otro lado podemos observar el apoyo interior de la clapeta, posteriormente recubriremos con una junta de goma para añadir estanqueidad en el cierre de la válvula para evitar la propagación de la posible deflagración. La parte superior del cuerpo de la válvula tendrá 12 taladros de 14mm repartidos 3 en cada cara de la válvula para la sujeción de la tapa que detallaremos a continuación. Por último podemos observar los pies de la válvula, que a diferencia del cuerpo han sido fabricados con 4 mm de espesor, su principal función es reforzar la cuna de la válvula, ya que como hemos podido observar en imágenes anteriores la válvula suele estar sujeta con los conductos de la instalación por medio de las bridas de conexión.



*Figura 47: Modelado del cuerpo de la válvula*

### 5.1.2 Clapeta

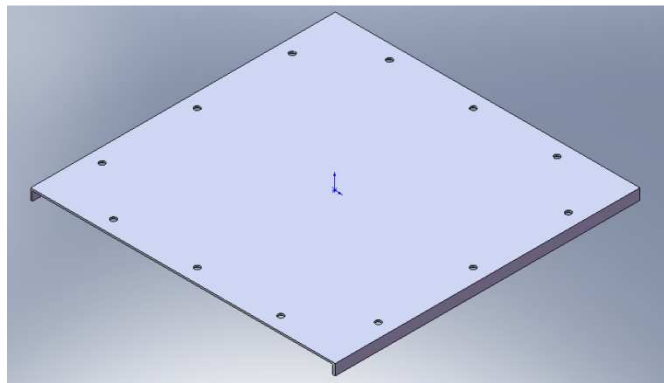
La clapeta de la válvula de retención será una de las zonas más afectadas por la posible explosión, se ha construido en acero de 4mm y se le ha soldado un tubo de 15mm de diámetro y 2,5mm de espesor. Como podremos observar en las primeras simulaciones y como cabía esperar ya que será la encargada del cierre de la válvula, tendremos que reforzarla para evitar la deformación excesiva.



*Figura 48: Clapeta de cierre de la válvula*

### 5.1.3 Tapa

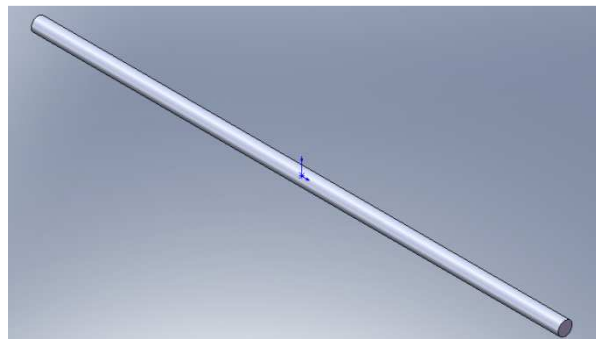
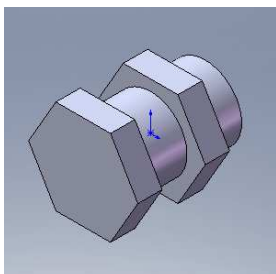
La tapa de la válvula es la otra pieza que previsiblemente más va a sufrir, y aunque será la pieza que más reforcemos para futuras simulaciones también se ha fabricado en 4mm de espesor y se le han plegado dos pletinas laterales de 25 mm aproximadamente. Cabe destacar que la válvula original se ha fabricado con palomillas en lugar de tornillos y con la inclusión de un asa para facilitar la apertura, hemos considerado que para la simulación y sobre todo para el ensayo experimental carecían de importancia.



*Figura 49: Tapa de la válvula*

### 5.1.4 Tornillería y ejes

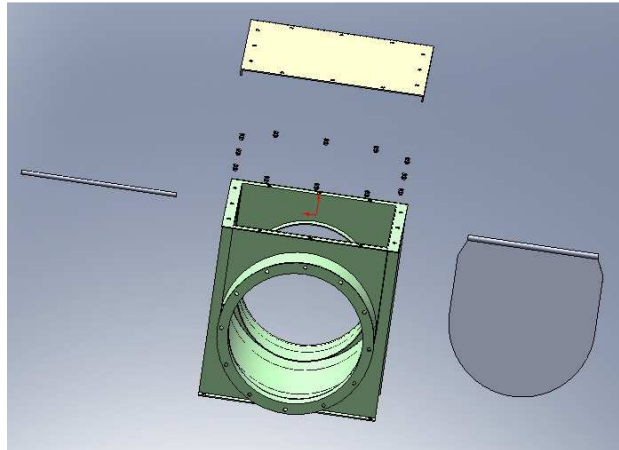
Para la sujeción de la tapa y la clapeta al cuerpo de la válvula se han utilizado inicialmente tornillos de métrica 12 y longitud 16mm mientras que como eje se ha utilizado una varilla maciza de 15mm de diámetro.



*Figura 50: Tornillería y eje de la válvula de retención*

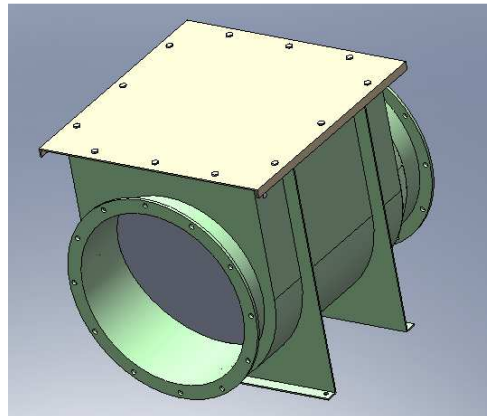
## 5.2 Ensamblaje

En la primera imagen podemos observar la explosión del ensamblado inicial que posteriormente compararemos con el ensamblado final.



*Figura 51: Explosión del ensamblado*

Tras haber introducido relaciones de posición en caras y aristas como paralela, coincidente, perpendicular o concéntrica podemos observar el aspecto final del conjunto antes de comenzar con su mallado y con las posteriores simulaciones.



*Figura 52: Ensamblaje inicial de la válvula*

### 5.3 Material utilizado

El material del que se ha fabricado la válvula es acero al carbono AISI A572 Gr.50, conocido normalmente como ST.52-3, un acero de calidad no aleado de uso general, apto para el uso a bajas temperaturas, ya que normalmente se utilizará a la intemperie. También es importante su buen comportamiento tras ser soldado.

Sus características principales son:

- Módulo elástico  $2,05 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$
- Coeficiente de Poisson 0,29
- Módulo cortante  $8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$
- Densidad  $7858 \text{ Kg/m}^3$
- Limite de tracción  $4,25 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$
- Limite elástico  $2,83 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$
- Coeficiente de dilatación  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$
- Conductividad térmica  $52 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- Calor específico  $486 \text{ J/(Kg} \cdot \text{K)}$

En la siguiente imagen podemos comparar con los introducidos en el SolidWorks.

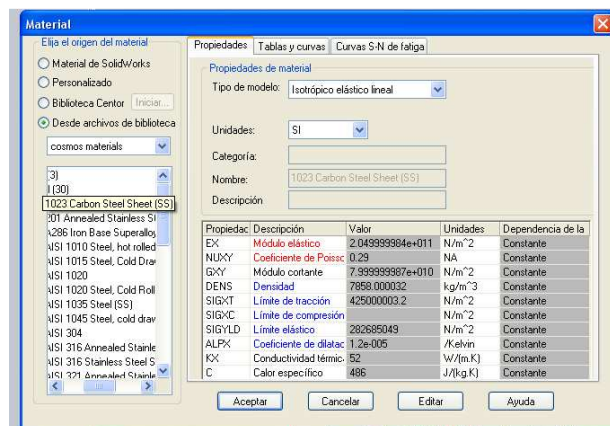


Figura 53: Propiedades del acero ST 52

### 5.4 Mallado

Una vez finalizado el proceso de modelado y ensamblado procedemos a simularlo por el método de elementos finitos, para ello debemos mallar nuestro chasis y realizar un control de mallado en las zonas donde aparecieran resultados más comprometedores. Cabe destacar que el tamaño global de la malla son 21,9mm mientras que la tolerancia han sido 1,09mm.

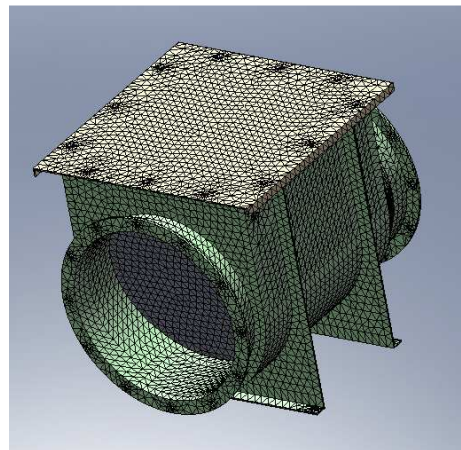
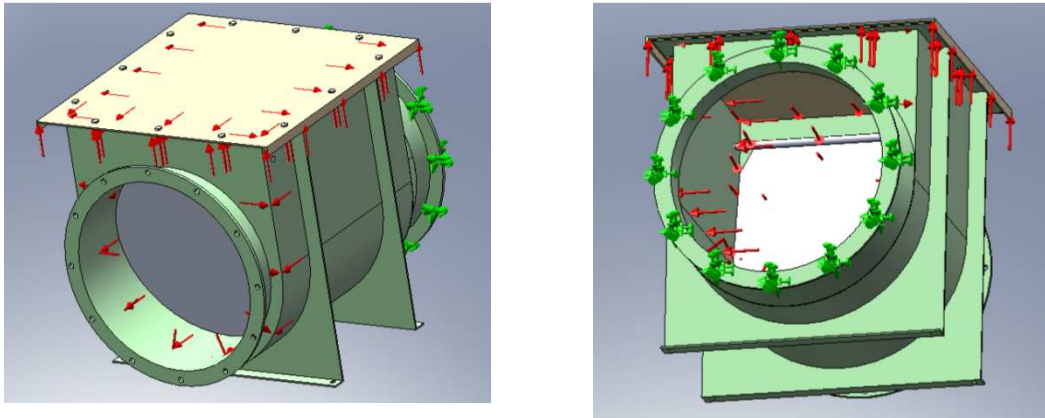


Figura 54: Mallado inicial del conjunto de la válvula de retención.

### 5.5 Cargas y restricciones de movimiento

Los datos para el cálculo de la presión a aplicar en las diferentes caras de la válvula han sido obtenidos de los ensayos experimentales analizados en el capítulo anterior, mientras que las restricciones de movimiento del cuerpo de la válvula se han introducido como empotramientos en los taladros de la brida contraria a la ubicación de la clapeta, lugar de restricción más desfavorable en la realización de los ensayos. El valor de la presión simulada han sido 2,5 bar que en un unidades del sistema internacional resultan  $P=245170 \text{ N/m}^2$



*Figura 55: Cargas y restricciones de movimiento de la válvula de retención*

Para todas las simulaciones obtendremos resultados de tensión, desplazamiento y deformación unitaria para poder compararlos con simulaciones posteriores y analizar el acierto en la colocación de los refuerzos.

Este tipo de válvulas son montadas para proteger instalaciones cuyo valor es infinitamente superior al precio de las diferentes válvulas de aislamiento de explosión que están en el mercado, y aunque estas válvulas están fabricadas para resistir una única explosión intentaremos que, en la medida de lo posible, y teniendo en cuenta que estará sometido a altas presiones no se supere el valor del límite elástico del material.



## ***CAPÍTULO TRES: RESULTADOS***



## 6. Resultados de simulaciones

### 6.1 Primera simulación

En esta primera simulación se estudiará la válvula de aislamiento sin ningún tipo de refuerzo por lo que se espera que las tensiones y deformaciones obtenidas sean elevadas. Con este primer estudio podremos definir los puntos críticos de la válvula que en posteriores simulaciones iremos corrigiendo. En primer lugar analizaremos la tensión de Von Mises, en segundo lugar los desplazamientos de la válvula y por último las deformaciones unitarias. Nuestro objetivo inicial no es la obtención de valores numéricos de tensión o deformación si no de conocer las zonas críticas de la válvula de aislamiento para poder optimizar los refuerzos instalados.

#### 6.1.1 Tensión de Von Mises

En la siguiente figura puede verse una visión general de las tensiones absorbidas por la válvula sobre una deformación de la válvula a escala 2,31:1.

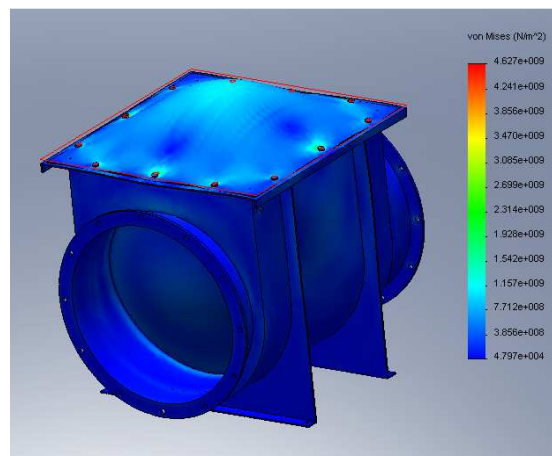
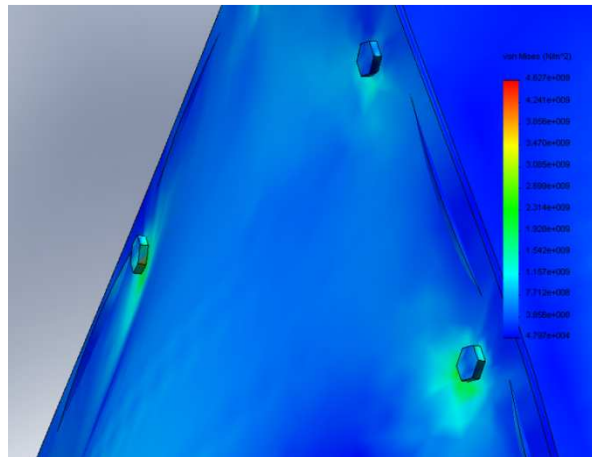


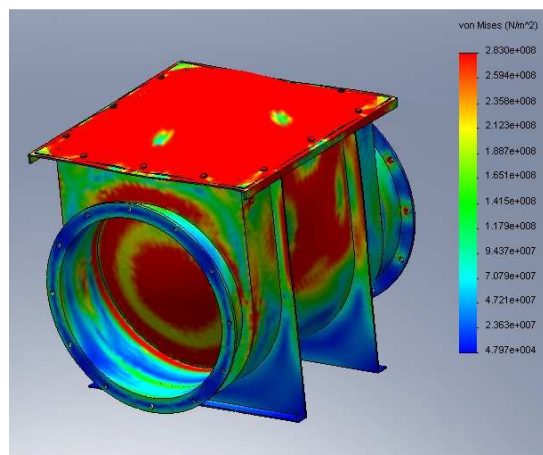
Figura 56: Simulación 1, Tensión de Von Mises

En la anterior figura se observa que los puntos que absorben mayor tensión son los cercanos a los tornillos, causados principalmente por la concentración de tensiones generadas en los taladros y para la fuerza de cortadura generada por los tornillos. En la siguiente figura podemos observar en detalle la tensión absorbida por los tornillos cuyo valor máximo es  $4,627 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ .



*Figura 57: Simulación 1, Tensión de Von Mises. Detalle tornillo*

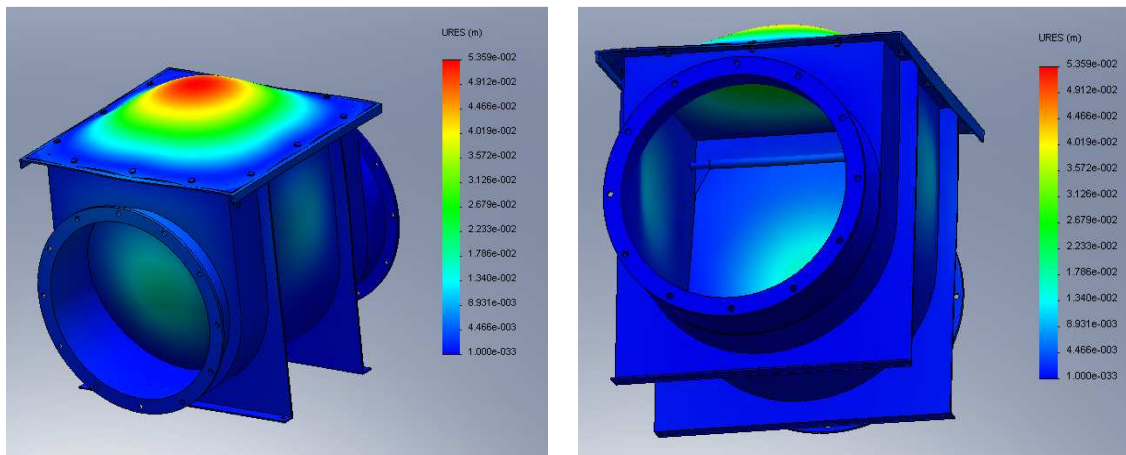
En la figura anterior se destacan los nodos que absorben mayores tensiones, sin embargo en la siguiente figura, tomando como referencia el límite elástico del acero ST52 de  $2,83 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$  podemos observar como la mayoría de los nodos de la válvula supera el límite elástico por lo que su deformación será permanente.



*Figura 58: Simulación 1, Tensión de Von Mises. Referencia límite elástico*

### 6.1.2 Desplazamientos

En las siguientes figuras pueden apreciarse una visión general de las deformaciones sufridas por la válvula de aislamiento.

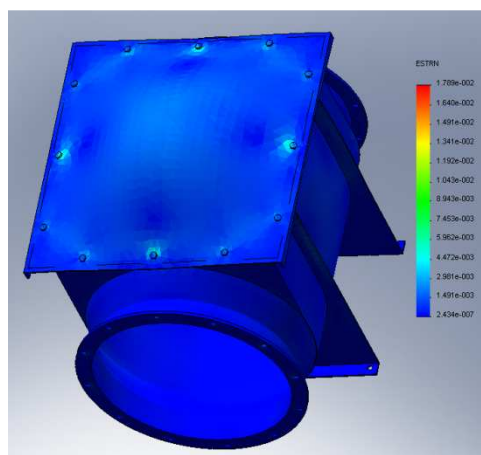


*Figuras 59: Simulación 1, Desplazamientos*

Como se podía prever en los resultados obtenidos en el apartado de tensión, la zona a reforzar para la siguiente simulación es la tapa. Su nodo de máximo desplazamiento son 53,6 mm, valor que tomaremos como referencia para dar como optima la siguiente simulación.

### 6.1.3 Deformación unitaria

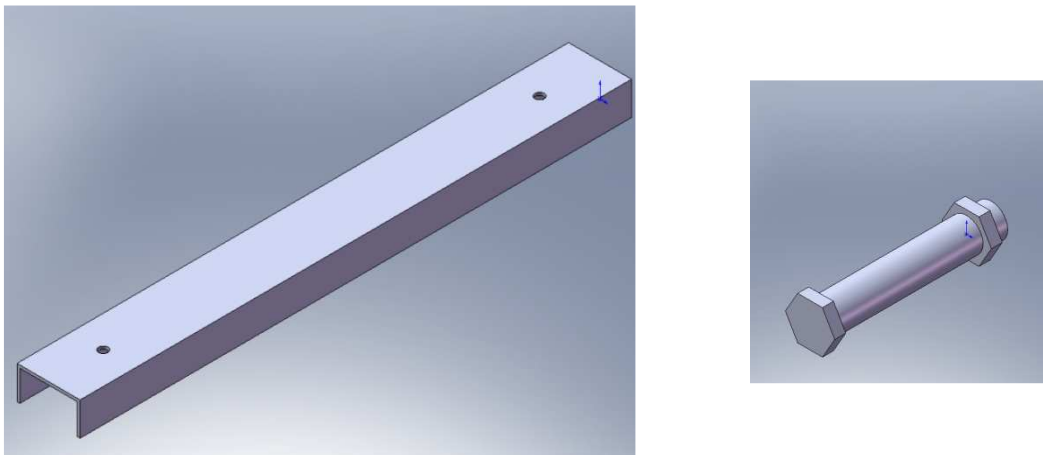
Al igual que en el ensayo de tensiones se observa que los nodos con mayor deformación unitaria son las zonas interiores de los tornillos. El nodo con mayor deformación unitaria son  $1,789 \cdot 10^{-2}$ .



*Figura 60: Simulación 1, Deformaciones unitarias*

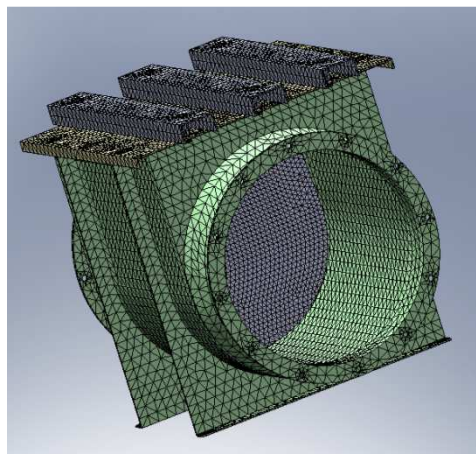
## 6.2 Segunda simulación

La conclusión obtenida de la simulación anterior es que debemos reforzar la tapa, para ello hemos optado por soldar 3 refuerzos de 4mm como los mostrados en la siguiente figura. Como consecuencia de este refuerzo, también deben modificarse los 6 tornillos que sujetaban la tapa al cuerpo de la válvula, estos tornillos se alargarán desde una distancia de 16 mm a 65 mm.



*Figura 61: Simulación 2, Refuerzos*

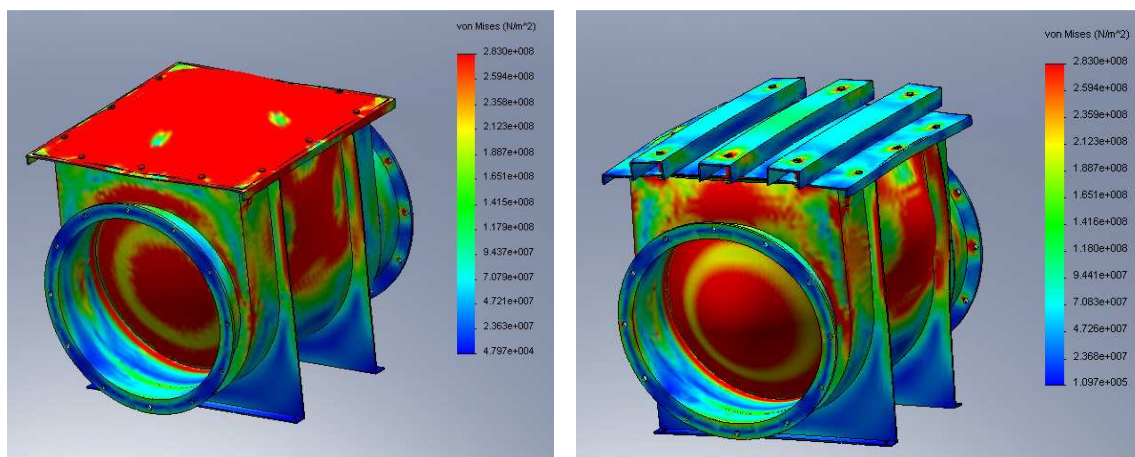
A continuación podemos observar el aspecto de la válvula para esta segunda simulación mallada, cuyo tamaño global de la malla resulta 22,97mm y la tolerancia son 1,15mm.



*Figura 62: Simulación 2, Mallado*

### 6.2.1 Tensión de Von Mises

Al igual que realizamos en la primera simulación, en la siguientes imágenes podemos observar las tensiones absorbidas por la válvula tomando como referencia el valor del límite elástico del material de  $2,83 \cdot 10^8 \text{ N/mm}^2$ .



Primera simulación

Segunda simulación

Figura 63: Verificación de la Simulación 2

De las anteriores imágenes podemos decir que los refuerzos introducidos en la tapa han cumplido con su propósito, las tensiones sufridas por la tapa se han reducido notablemente, bajando en la mayoría de sus nodos del límite elástico, por su parte, en la siguiente imagen observamos los nodos con mayores tensiones absorbidas, que a parte de los obtenidos en la primera simulación donde destacaban las cercanías de los tornillos, podemos añadir la zona de acoplamiento del eje, probablemente por la misma razón.

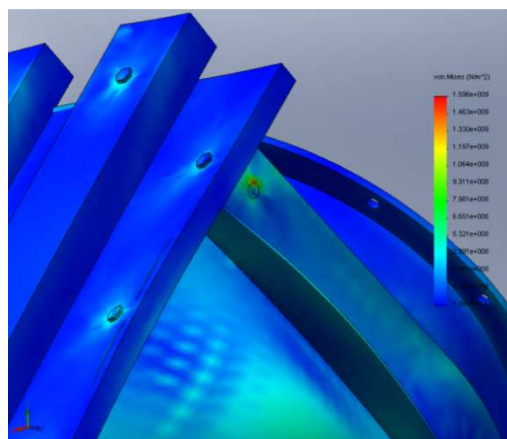
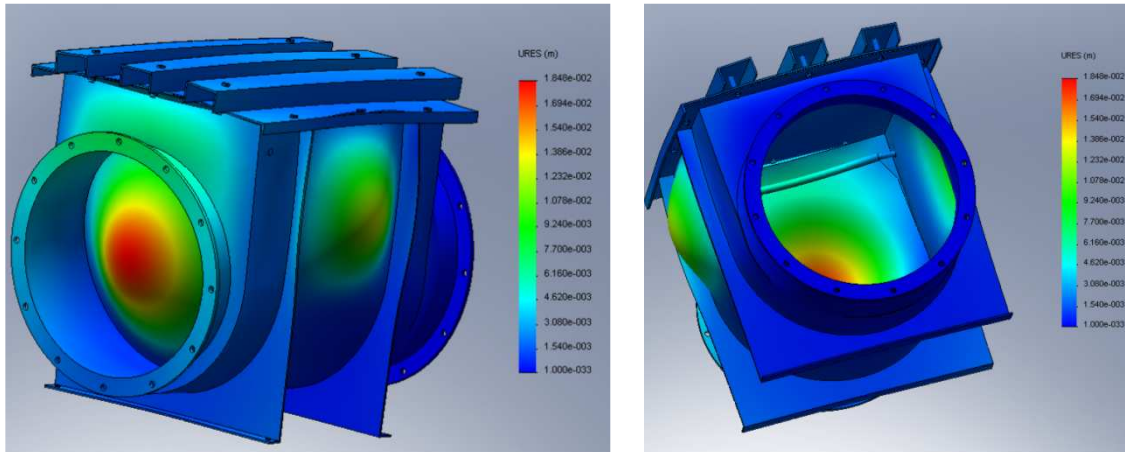


Figura 64: Simulación 2, Tensiones

### 6.2.2 Desplazamientos

Una vez validados los refuerzos introducidos en la segunda simulación, analizaremos los nodos con mayores desplazamientos, en la anterior simulación destacaba la parte superior de la tapa mientras que en la siguiente imagen podemos observar que la zona más crítica de la segunda simulación es la clapeta.



*Figura 65: Simulación 2, Desplazamientos*

La escala de deformación de esta segunda simulación es 7,74:1 que en comparación de los 2,31:1 obtenidos en la primera simulación nos da una idea de la mejora del comportamiento de la válvula.

Por otro lado, cabe destacar que el desplazamiento máximo se ha reducido de 53,6 mm obtenidos en la tapa de la anterior simulación a 18,5 mm de la clapeta de esta segunda simulación.



### 6.2.3 Deformación unitaria

En la siguiente imagen podemos observar los valores de deformación unitaria obtenidos en la segunda simulación. El valor máximo también se ha reducido de  $1,789 \cdot 10^{-2}$  a  $6,679 \cdot 10^{-3}$

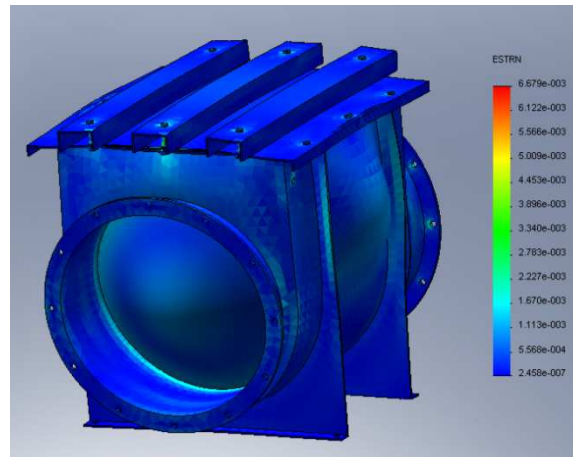
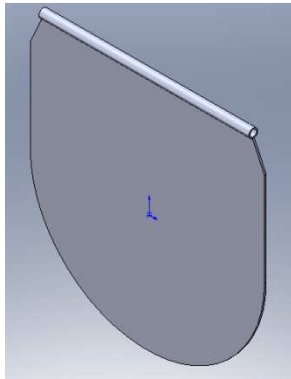


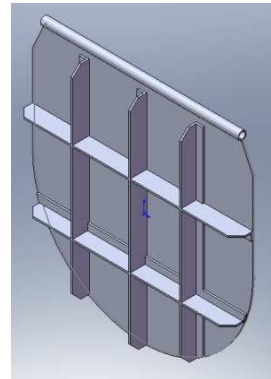
Figura 66: Simulación 2, Deformaciones unitarias

### 6.3 Tercera simulación

Como conclusión de la segunda simulación podemos decir que el punto a reforzar debe ser la clapeta, para ello se le han soldado unos refuerzos de 4mm de espesor plegados 90° formando una "L" de 20x40 mm. La diferencia entre ambas clapetas puede observarse en la siguiente figura.



Segunda simulación



Tercera simulación

Figura 67: Simulación 3, Refuerzos

Cabe destacar que la inclusión de este tipo de refuerzos conlleva para ésta y para las siguientes simulaciones realizar un control de mallado en este tipo de refuerzos, la malla realizada en este ensamblaje tendrá un tamaño global de 23,31mm y 1,17mm de tolerancia mientras que el tamaño para el control de mallado se reduce a 11,66mm.

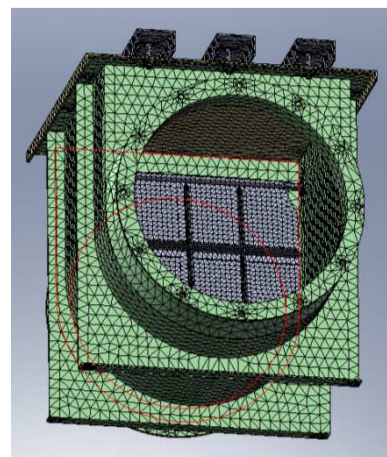
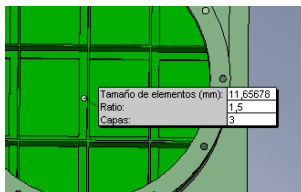
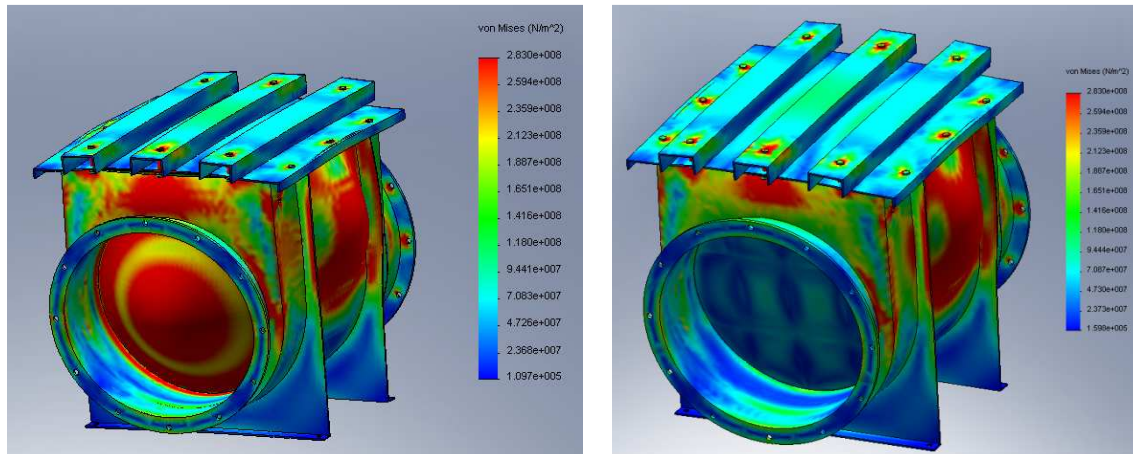


Figura 68: Simulación 3, Mallado



### 6.3.1 Tensión de Von Mises

Al igual que en la simulación anterior, vamos a analizar la diferencia de tensiones absorbidas con respecto a la simulación anterior tomando como referencia el limite elástico del material.



Segunda simulación

Tercera simulación

Figura 69: Verificación de la simulación 3

En las anteriores figuras podemos observar como los refuerzos introducidos en la clapeta han reducido notablemente las tensiones absorbidas por la misma. Por otro lado, en la siguiente figura podemos observar los nodos en los que se le ha aplicado una mayor tensión. A parte de los ya conocidos cercanos los taladros, se añaden los mostrados en la figura debido probablemente a la flexión de la tapa.

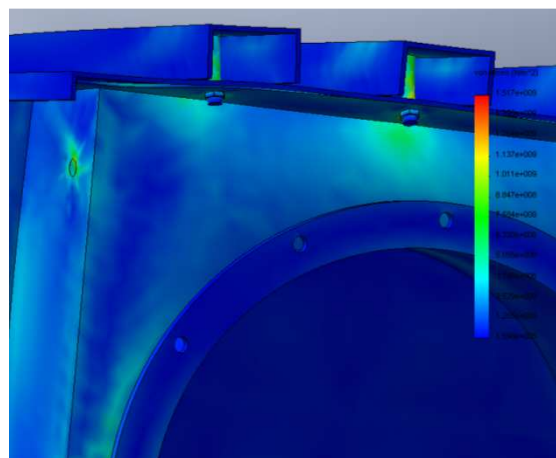
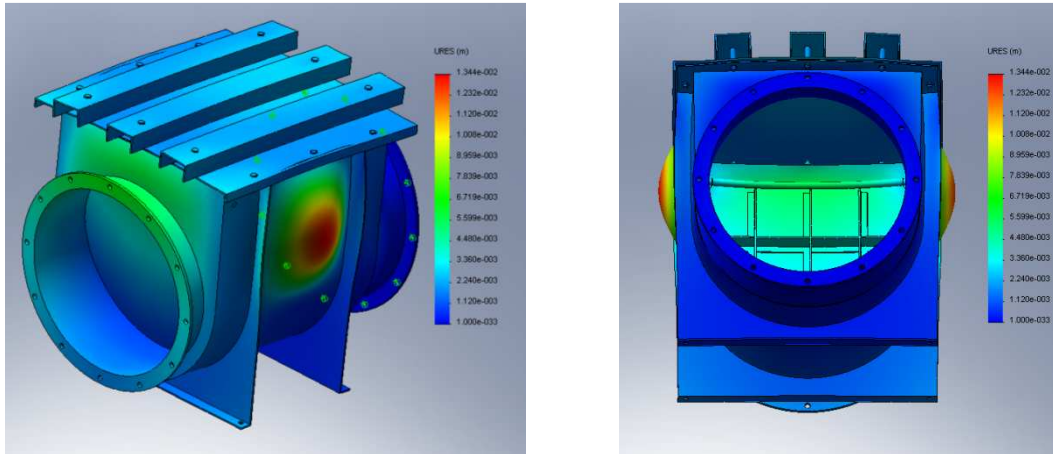


Figura 70: Simulación 3, Tensión de Von Mises

### 6.3.2 Desplazamientos

En las siguientes imágenes podemos observar con una escala de deformación que se ha reducido a 6,55:1 la apariencia de la válvula tras la tercera simulación.



*Figura 71: Simulación 3, Desplazamientos*

Cabe destacar que en esta tercera simulación, se aprecia a simple vista que la zona más crítica serán las paredes del cuerpo de la válvula. Por otro lado podemos observar que el valor de máximo desplazamiento obtenido en la anterior simulación en la clapeta y cuyo valor era de 18,5 mm se ha reducido a 13,4 mm que en esta tercera simulación se encuentran los ya mencionados laterales de la válvula.

### 6.3.3 Deformación unitaria

Al igual que en simulaciones anteriores el estudio de deformaciones unitarias no nos aporta demasiada información, simplemente nos resume lo analizado en apartados anteriores, destacando los nodos de máxima tensión absorbida y los de mayor desplazamiento como son, la pared lateral de la válvula y los generados por la concentración de tensiones de los taladros. Cabe destacar que el valor de deformación unitaria máxima resultante de esta tercera simulación son  $6,73 \cdot 10^{-3}$ , valor similar al obtenido en la simulación anterior.

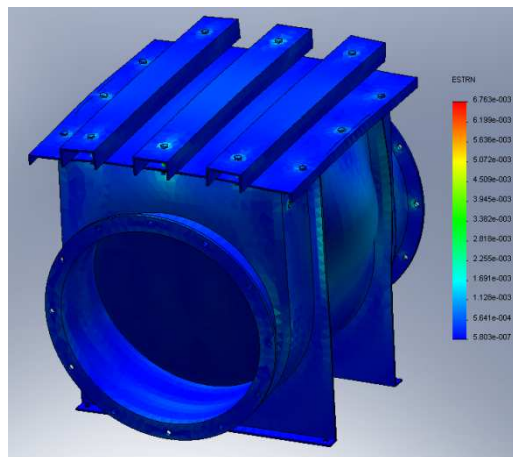
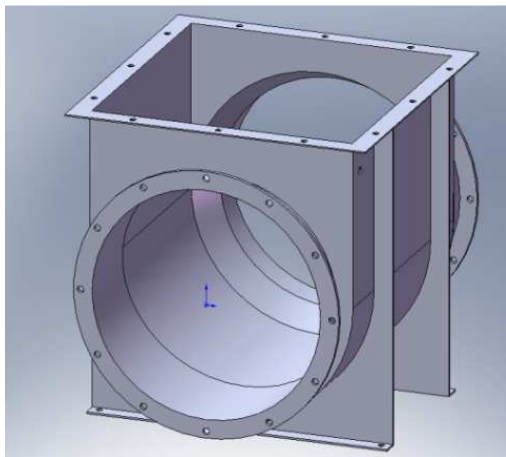


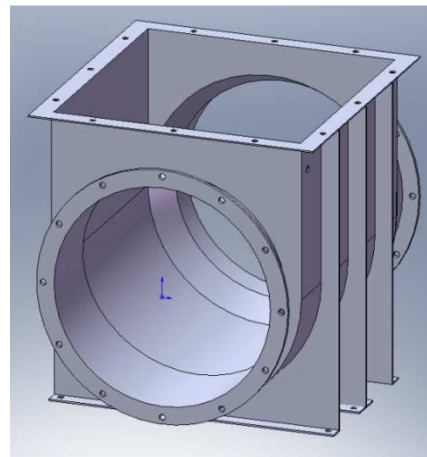
Figura 72: Simulación 3, Deformaciones unitarias

### 6.4 Cuarta simulación

De la simulación anterior hemos analizado la necesidad de reforzar el cuerpo de la válvula en su zona lateral. En la siguientes imágenes podemos observar la inclusión de otro refuerzo de 4 mm en la cuna de la válvula, con ello pretendemos reducir los desplazamientos obtenidos en dicha zona ya que en la simulación anterior resultaban ser los máximos del ensamblaje.



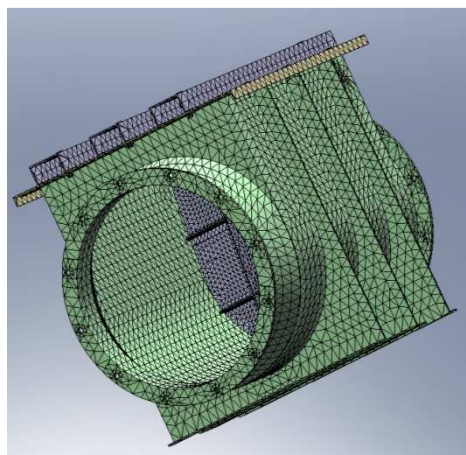
*Tercera simulación*



*Cuarta simulación*

*Figura 73: Simulación 4, Refuerzos*

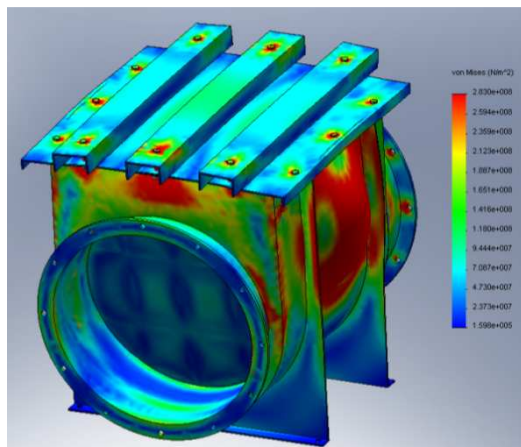
Al igual que en el apartado anterior resulta necesario realizar un control de mallado en los refuerzos de la clapeta. En la siguiente imagen se puede ver la apariencia del ensamblaje mallado para la cuarta simulación.



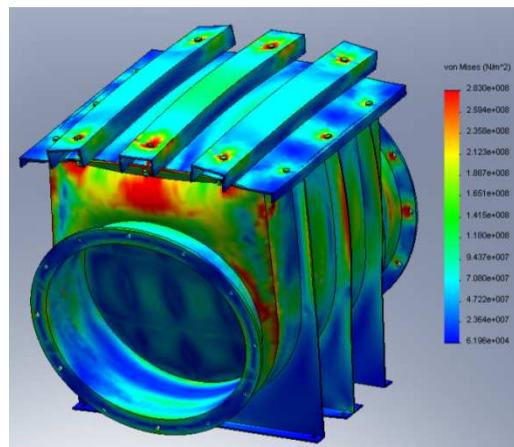
*Figura 74: Simulación 4, Ensamblaje mallado*

### 6.4.1 Tensión de Von Mises

Al igual que en simulaciones anteriores, vamos a analizar la diferencia de tensiones absorbidas con respecto a la simulación anterior tomando como referencia el límite elástico del material. Con ello podremos observar la validez de los refuerzos introducidos.



Tercera simulación



Cuarta simulación

Figura 75: Verificación de la simulación 4

En las siguientes imágenes y con una escala de deformación 3 veces superior al de la simulación anterior y con valor de 18,12 podemos observar los puntos críticos de la cuarta simulación, que al igual que las simulaciones anteriores destacan los tornillos de sujeción de la tapa y los taladros de los mismos. Cabe destacar que el valor de la máxima tensión absorbida por la válvula en esta simulación resulta  $1,617 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ . Por su parte, resultan novedosas las tensiones aplicadas sobre el eje de la clapeta.

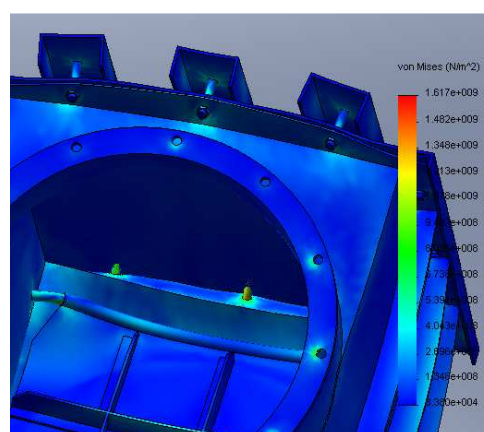
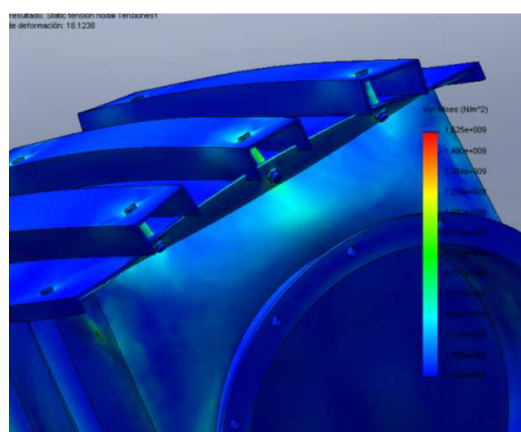
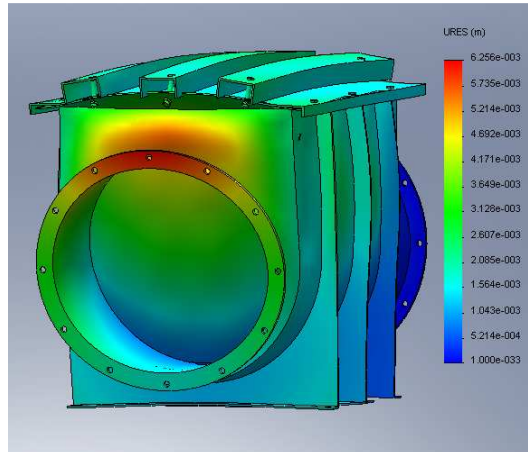


Figura 76: Simulación 4, tensión de Von Mises



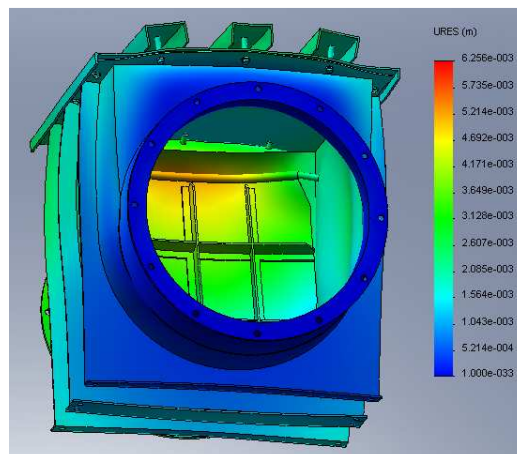
### 6.4.2 Desplazamientos

En la siguiente imagen observamos la máxima deformación realizada en la parte frontal-superior del cuerpo de la válvula, su valor resulta 6,3 mm el cual se ha reducido en un 50% respecto al valor de desplazamiento máximo obtenido en la simulación anterior.



*Figura 77: Simulación 4, Desplazamientos*

Por otro lado, podemos ir definiendo los refuerzos para la siguiente simulación, en la anterior imagen y en la posterior también observamos que la zona superior y más exactamente la parte frontal sigue siendo crítica.



*Figura 78: Simulación 4, Desplazamientos. Zona interior- posterior*

### 6.4.3 Deformación unitaria

El estudio de deformación unitaria de la cuarta simulación nos señala que la parte superior central flexa por encima de los laterales, originando posiblemente por la falta de refuerzos transversales, sin embargo, a diferencia de la simulación anterior destaca la disminución del máximo valor de deformación unitaria a  $6 \cdot 10^{-3}$  con respecto a los  $6,7 \cdot 10^{-3}$  de la tercera simulación.

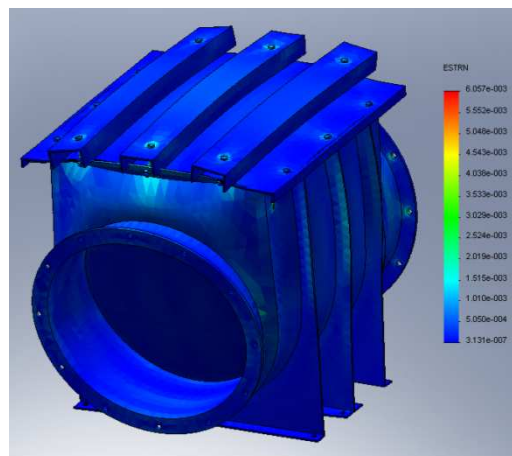
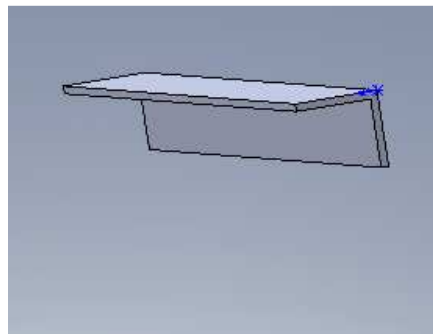


Figura 79: Simulación 4, Deformaciones unitarias

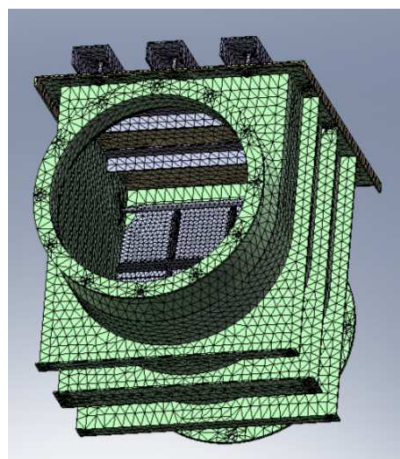
### 6.5 Quinta simulación

Como hemos podido observar en la anterior simulación, la válvula requiere de algún tipo de refuerzo transversal en su parte superior, por ello se ha decidido soldar dos refuerzos de 4 mm en el interior de la tapa plegados 90° formando una "L" de 40x40mm. Con ellos se pretende que la válvula flecha en menor medida para que las tensiones absorbidas y por tanto las deformaciones de la parte superior-frontal del cuerpo de la válvula se reduzcan.



*Figura 80: Simulación 5, Refuerzos*

En la siguiente imagen podemos observar la malla de tamaño global 23,92mm y 1,19mm de tolerancia del ensamblaje de la quinta simulación. También puede verse la ubicación de los dos refuerzos interiores soldados.

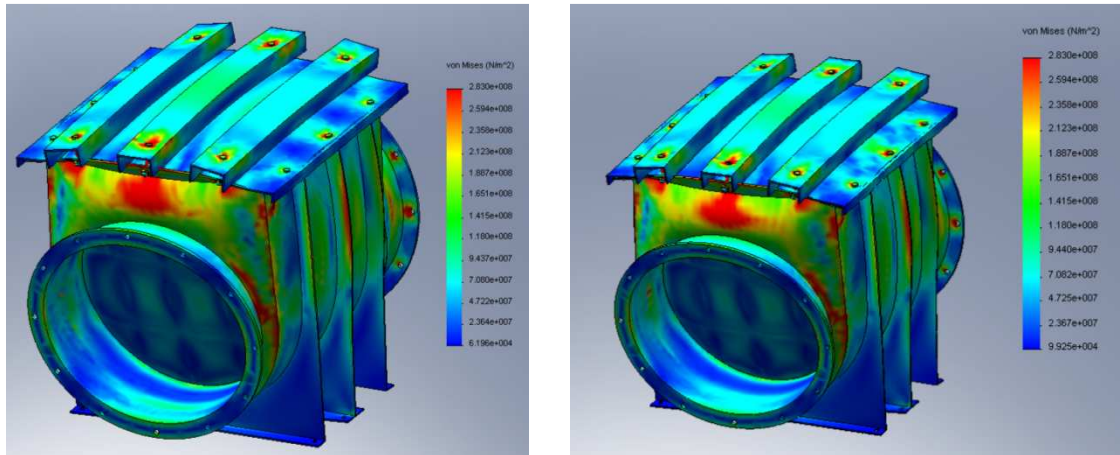


*Figura 81: Simulación 5, Ensamblaje mallado*



### 6.5.1 Tensión de Von Mises

Al igual que en todas las simulaciones anteriores, vamos a comparar las tensiones absorbidas por ambas simulaciones tomando como referencia el limite elástico del material.

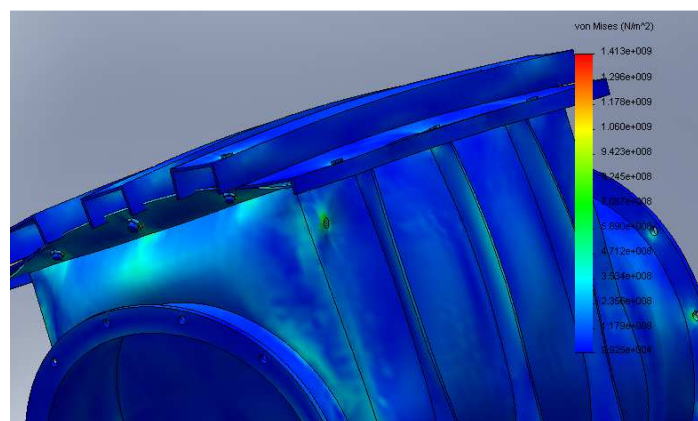


*Cuarta simulación*

*Quinta simulación*

*Figura 82: Verificación de la simulación 5*

A diferencia de simulaciones anteriores, aparentemente la inclusión de un nuevo refuerzo no ha supuesto una mejora notable, sin embargo cabe destacar que la escala de deformación se ha aumentado de 18,12:1 a 21,6:1, lo que nos indica que el refuerzo también ha surtido efecto. Por otro lado en la siguiente imagen puede observarse que aunque el valor máximo de tensión absorbido se ha reducido a  $1,4 \cdot 10^9$  N/m<sup>2</sup> la parte frontal superior de la válvula sigue siendo la zona más crítica.



*Figura 83: Simulación 5, Tensión de Von Mises*

### 6.5.2 Desplazamientos

En la siguiente imagen confirmamos que aunque el valor de máxima deformación se ha reducido en medio milímetro resultando 5,8mm, dicho valor sigue obteniéndose en la zona crítica del apartado anterior.

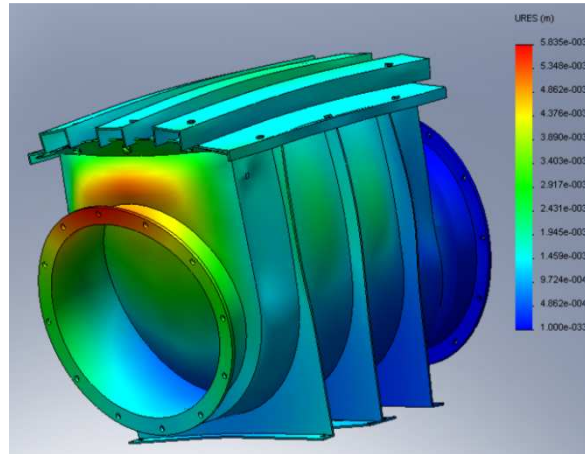


Figura 84: Simulación 5, Desplazamientos

En la siguiente imagen podemos observar, los valores de deformación obtenidos en los refuerzos de esta simulación.

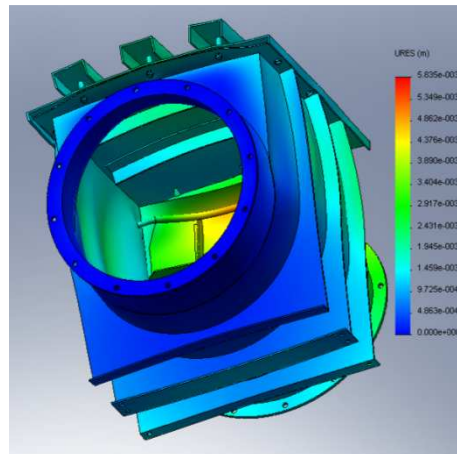


Figura 85: Simulación 5, Desplazamientos

### 6.5.3 Deformación unitaria

El estudio de deformación unitaria mostrado en la siguiente imagen nos confirma lo visto en los estudios de tensión y deformaciones anteriores, el valor de deformación unitaria máximo se ha reducido a  $5,9 \cdot 10^{-3}$  pero las zonas críticas se mantienen.

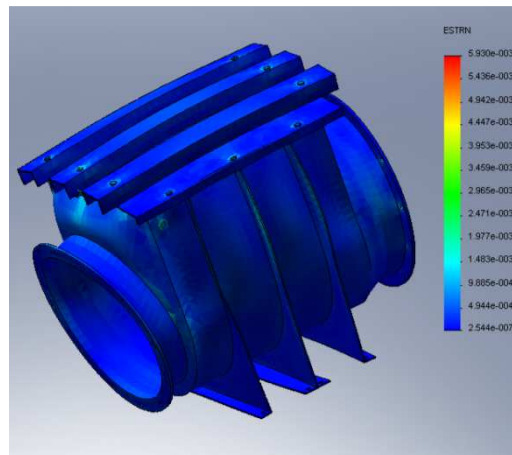
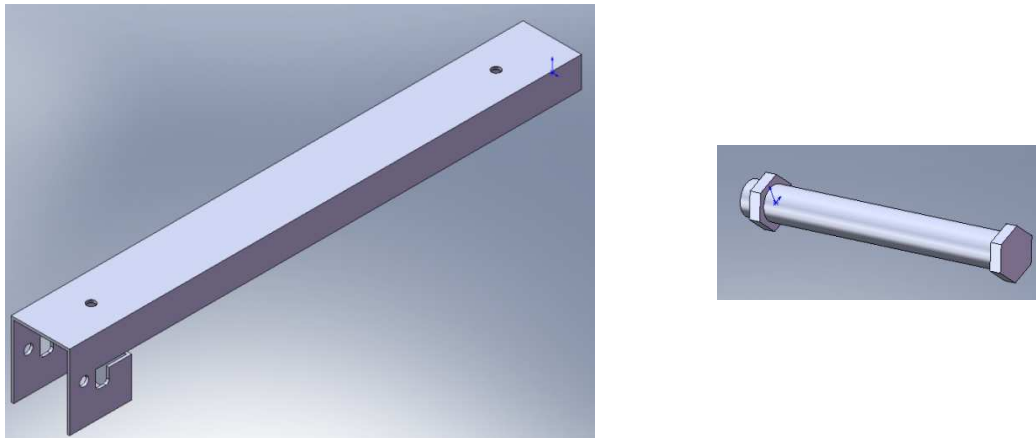


Figura 86: Simulación 5, Deformaciones unitarias

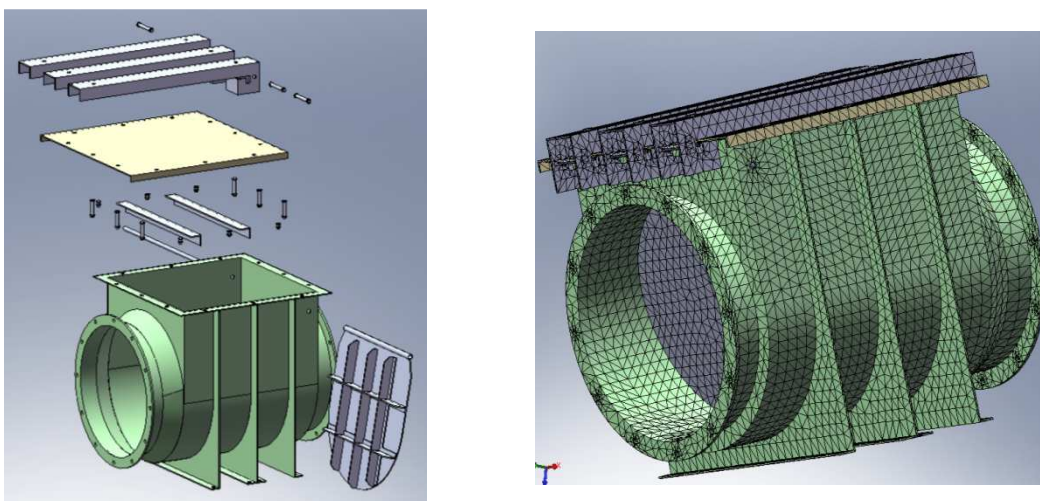
## 6.6 Sexta simulación

Como consecuencia de las dos últimas simulaciones en las que se definía la zona crítica a la zona superior frontal de la válvula se ha considerado la opción de realizar para esta última simulación un refuerzo frontal más elaborado. Para ello se ha ampliado el refuerzo de la segunda simulación a la parte frontal de la válvula, por otro lado, se han añadido tres nuevos tornillos transversales de 14 mm de diámetro y 100 mm de longitud que dificulten la flexión del citado refuerzo.



*Figura 87: Simulación 6, Refuerzos*

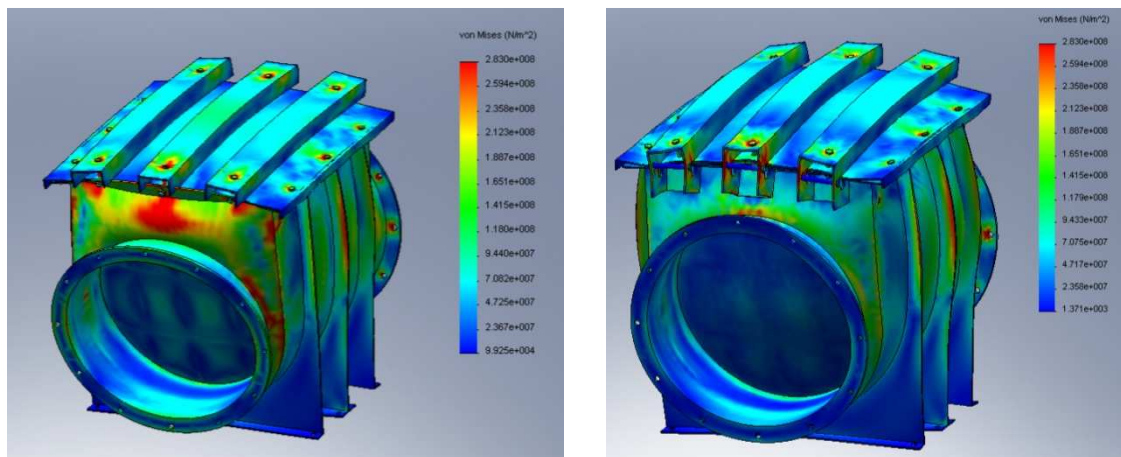
En las siguientes imágenes podemos observar el aspecto final de la válvula que se ensayará posteriormente. El tamaño global de la malla resulta 24mm mientras que la tolerancia son 1,2mm.



*Figura 88: Simulación 6, Ensamblaje mallado*

### 6.6.1 Tensión de Von Mises

En esta última simulación, también se han comparado los valores de tensión absorbida con las de simulaciones anteriores para poder determinar la validez de los refuerzos. Para ello y para hacernos una idea de la deformación plástica que sufrirá el material se ha tomado como referencia el valor del límite elástico del material de  $2,83 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ .



Quinta simulación

Sexta simulación

Figura 89: Verificación de la simulación 6

De las imágenes anteriores podemos concluir que este último refuerzo ha resultado eficiente ante las excesivas tensiones generadas en la zona frontal de la válvula. Por otro lado se observa que no existe ninguna zona crítica en la que claramente se supere el límite elástico por lo que el diseño lo podemos considerar válido y listo para ensayar. Por último y para reforzar lo citado anteriormente se muestra una imagen de los refuerzos frontales en los que aparentemente supera el límite elástico. En esta imagen se utiliza como referencia el máximo valor de tensión obtenido de  $1,16 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$  y se puede observar que el límite elástico se supera en un número reducido de nodos.



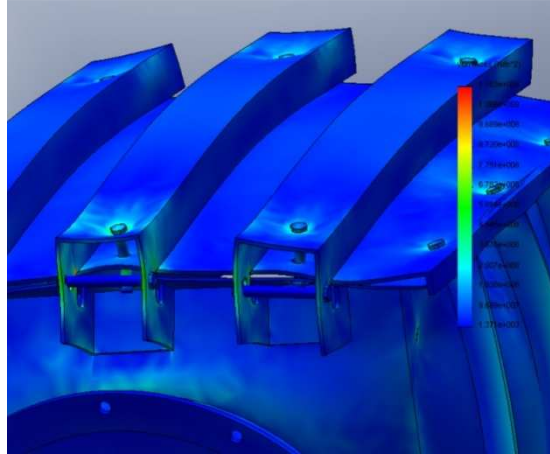


Figura 90: Simulación 6, Tensión de Von Mises

### 6.6.2 Desplazamientos

En la siguiente imagen podemos observar la apariencia de la válvula de aislamiento tras la última simulación, en ella la escala de deformación prácticamente se multiplica por dos, resultando 38,24:1 dando fe de que el refuerzo introducido en esta simulación y también por las anteriores hace que la válvula sea bastante fiable ante una posible explosión.

Cabe destacar que el valor máximo de desplazamiento resulta 3,2mm, valor bastante inferior a los 5,8mm obtenidos en la simulación anterior.

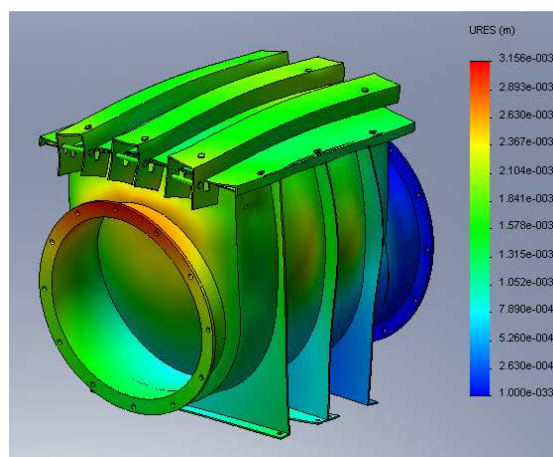
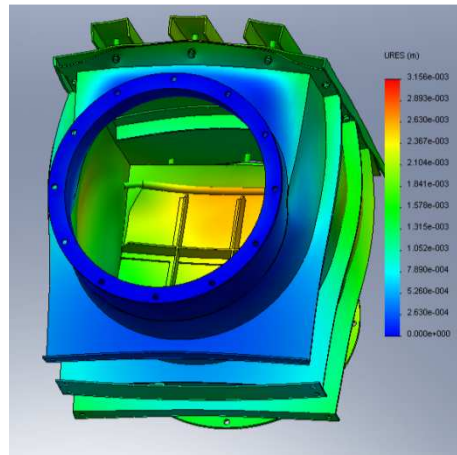


Figura 91: Simulación 6, Desplazamientos

Por otro lado podemos analizar otra zona crítica de anteriores simulaciones, el eje de la clapeta, para ello, en la siguiente imagen

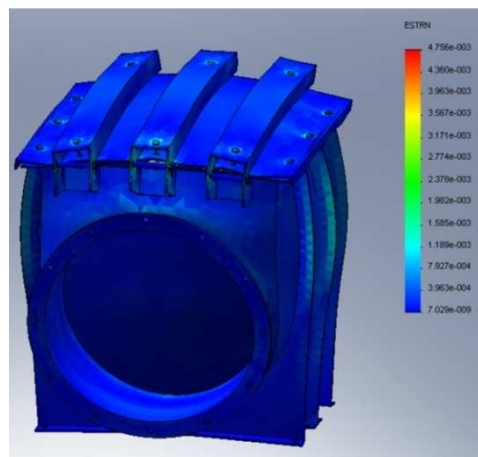
teniendo en cuenta que la escala de deformación se ha multiplicado por dos, observamos que la deformación del mismo se ha reducido.



*Figura 92: Simulación 6, Desplazamiento. Detalle interior*

### 6.6.3 Deformación unitaria

Como último estudio de simulación se analizan los valores de deformación unitaria resultantes de esta sexta simulación, en ella podemos observar que al tratarse de una válvula simétrica en uno de sus ejes, las zonas más críticas son las centrales debido a la flexión de sus caras.



*Figura 93: Simulación 6, Deformaciones unitarias*

Cabe destacar que en esta ultima simulación se ha reducido el valor de deformación unitaria de  $5,9 \cdot 10^{-3}$  a  $4,8 \cdot 10^{-3}$ . Esto significa una reducción aproximada del 20% cuando en simulaciones anteriores la inclusión de refuerzos reducía apenas un 1%.

## **7. Resultados ensayo experimental**

Partiendo de la metodología descrita en el capítulo 2 de este proyecto ensayaremos la válvula modelada anteriormente para poder analizar la validez tanto de la válvula de aislamiento como del simulador utilizado.

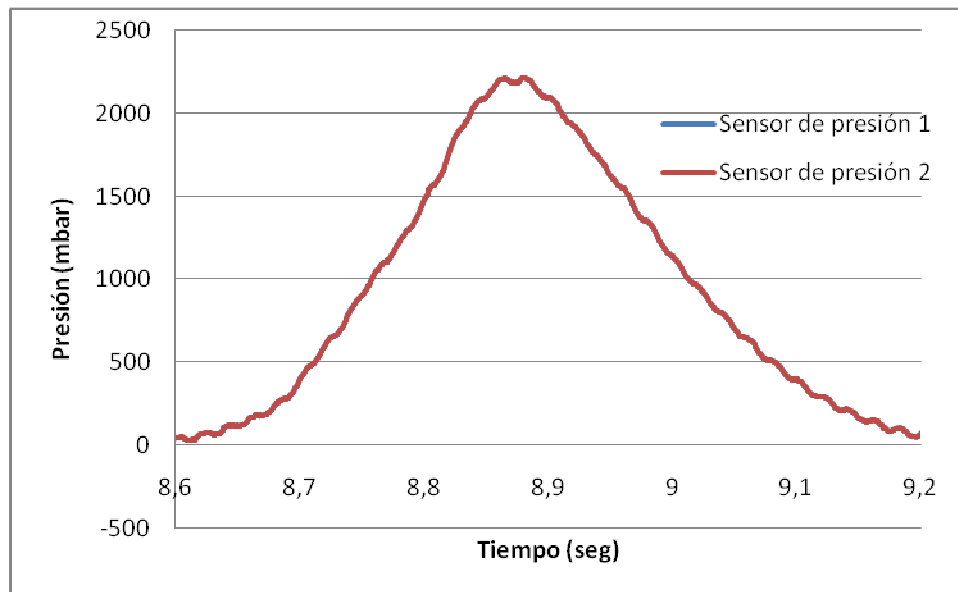
En las siguientes imágenes podemos observar la apariencia del ensayo inicial con el efectuado con el prototipo diseñado anteriormente. En ellas se puede ver el diseño más cuidado del segundo ensayo.



*Figura 94: Fotografías de los ensayos experimentales.*

Las gráficas de resultados obtenidas en el programa DasyLab durante el ensayo se muestran a continuación en una gráfica Excel donde podremos comparar que los datos de presión obtenidos son similares a los de la válvula inicial.





*Figura 95: Presiones obtenidas en el ensayo*

El detalle de la grafica anterior corresponde al intervalo de tiempos entre 8,6 y 9,2 segundos en el que se obtiene un valor máximo de presión de 2215,54 milibares valor similar al obtenido en el ensayo inicial de 2447,94 mbar.



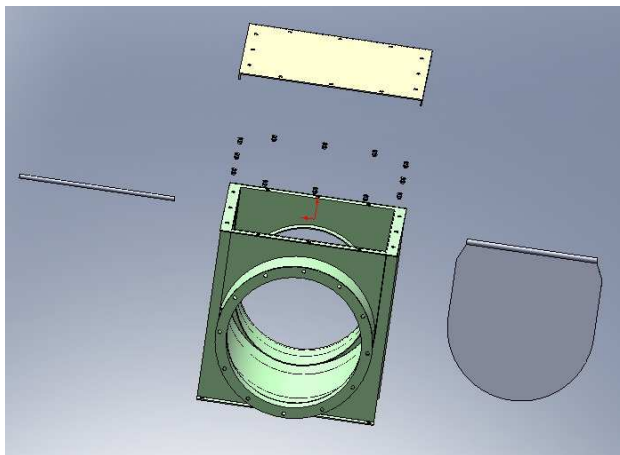
## ***CAPÍTULO CUATRO: CONCLUSIONES***

## 8. Conclusiones

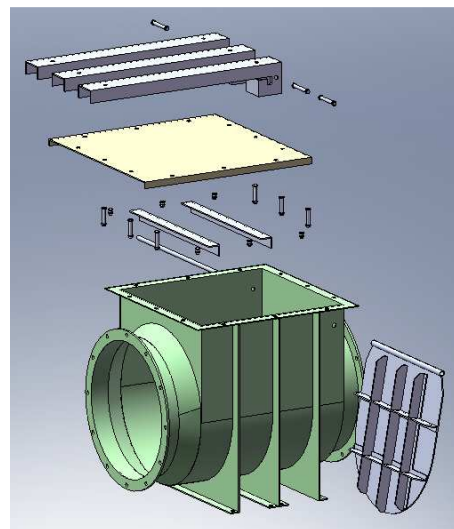
### 8.1 Conclusiones del modelado

Para el análisis del proceso de modelado de este proyecto se han comparado los resultados obtenidos en la válvula de explosión simulada inicialmente con la realizada tras la inclusión de todos los refuerzos.

En primer lugar vamos a analizar los ensamblajes explosionados de las diferentes simulaciones.



*Simulación inicial*

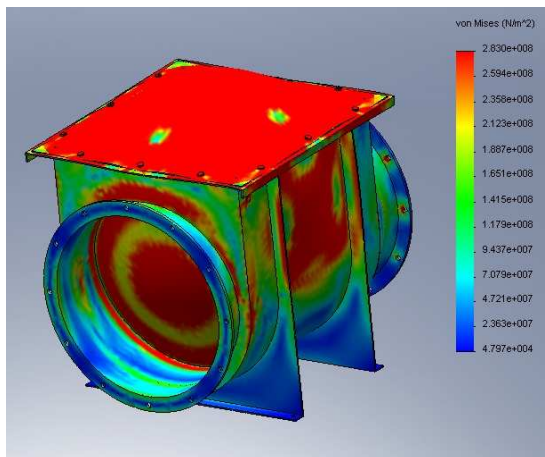


*Simulación final*

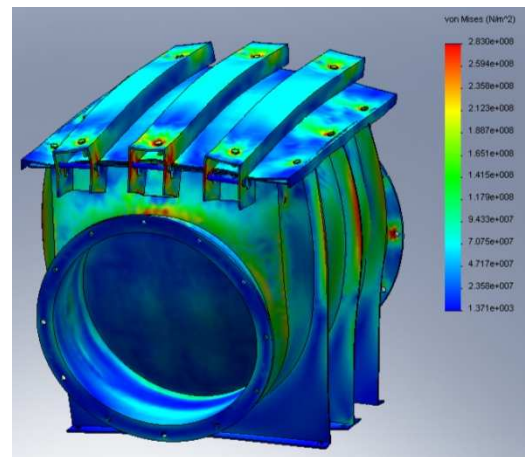
*Figura 96: Conclusión. Explosión de ensamblajes de simulación inicial y final*

Podemos observar que en la primera simulación el ensamblaje consta de 16 elementos mientras que la simulación final está compuesta de 24 elementos. Se han incluido refuerzos en la clapeta, en el lateral del cuerpo de la válvula y sobre todo en la zona exterior de la tapa.

En segundo lugar vamos a analizar las tensiones absorbidas por la válvula tomando como valor de referencia el límite elástico del material utilizado acero al carbono ST-52. En las imágenes podemos ver como en la simulación inicial la mayoría de zonas de la válvula absorbía una tensión superior al límite elástico mientras que en la válvula final, las zonas en las que se supera el límite elástico son mínimas.



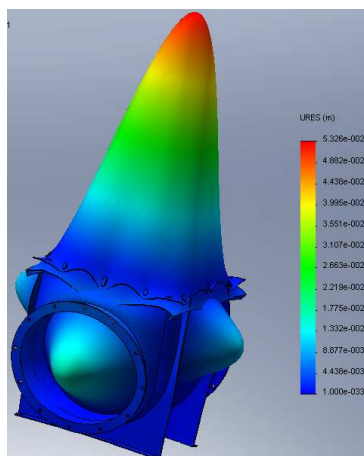
*Simulación inicial*



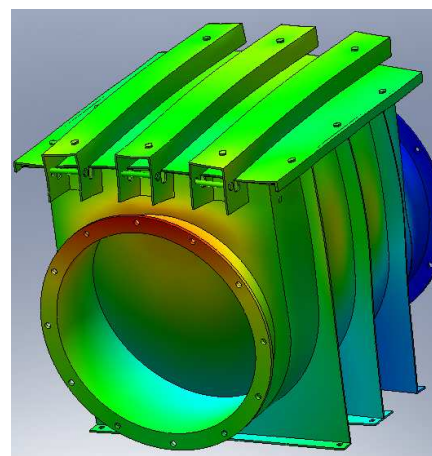
*Simulación final*

*Figura 97: Conclusión. Tensión de simulación inicial y final*

Por otro lado vamos a analizar los desplazamientos obtenidos en las diferentes simulaciones con una escala media de las automáticamente definidas por COSMOSWorks de 20:1



*Simulación inicial*



*Simulación final*

*Figura 98: Conclusión. Desplazamientos de simulación inicial y final*

Como se puede ver en las imágenes anteriores, la inclusión de los refuerzos han surtido el efecto deseado, cabe destacar que el precio aproximado del material utilizado para la válvula simulada inicialmente ronda los 500€ mientras que los refuerzos utilizados estarán cercanos a los 50€, un aumento del 10% similar al que aumentarían los gastos de mano de obra de la inclusión de los refuerzos, estos refuerzos, por su parte redujeron los valores de deformación a otros 20 veces menores. Los valores de tensión y deformación obtenidos en el ensayo final son asumibles, ya que, aunque existen zonas de la válvula donde se supera el límite elástico del material, la válvula está diseñada por soportar una única explosión,

Por otro lado, también podemos concluir que la inclusión del refuerzo de la cuarta simulación no aporta la resistencia buscada para la tapa en su sentido transversal.

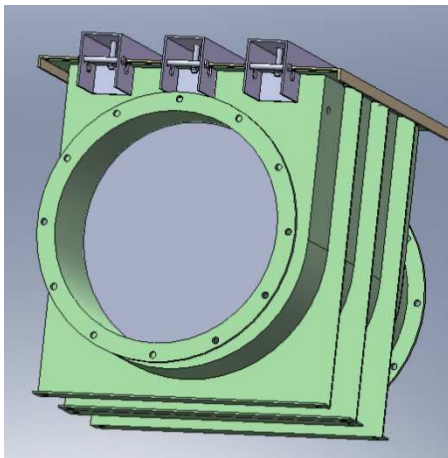
## 8.2 Conclusiones de la simulación.

Como conclusión de la simulación vamos a analizar el comportamiento de la válvula en la sexta simulación frente a las fotografías tomadas en el ensayo experimental. Para ello, en las siguientes figuras se muestran fotografías antes y después de la explosión.

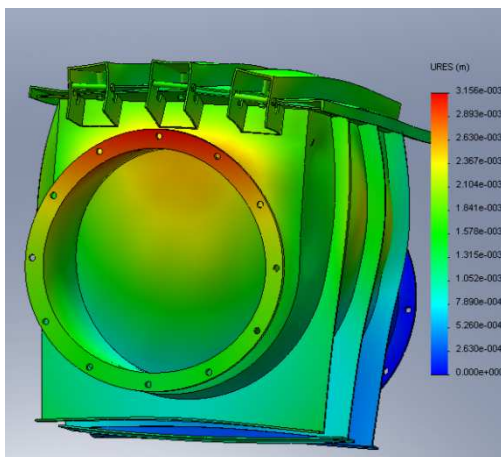
### Simulación en SolidWorks

### Ensayo experimental

*Antes de la explosión*



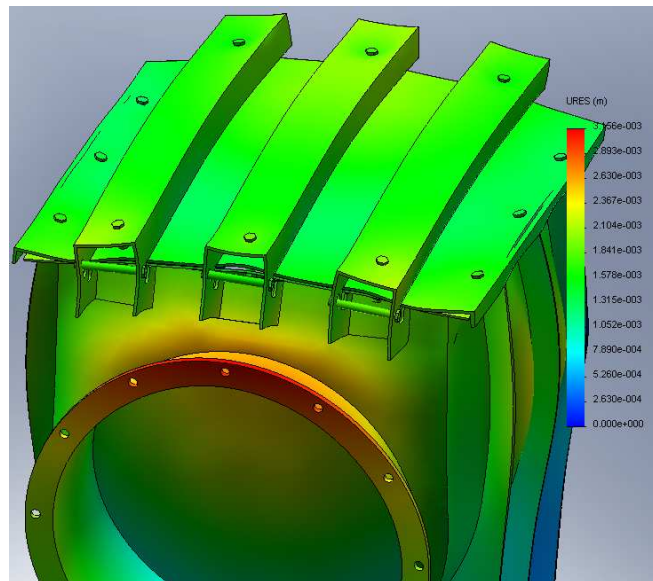
*Después de la explosión*



*Figura 99: Conclusión de la simulación*

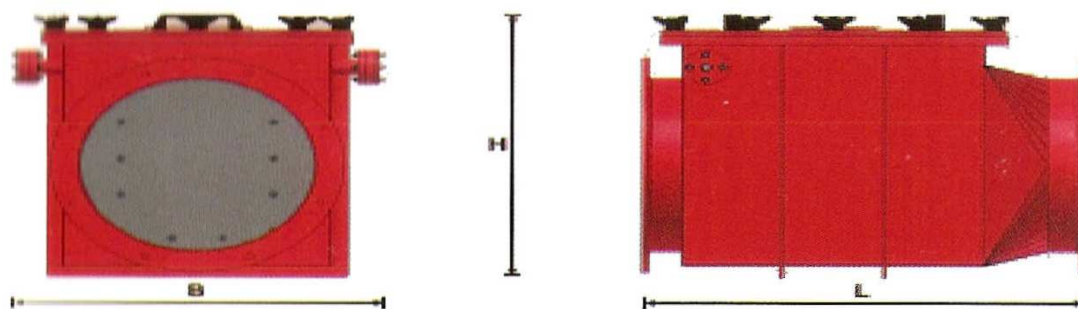
En esta relación de imágenes podemos observar que las deformaciones obtenidas en ambas figuras son realmente similares. Si comparamos la imagen de explosión con el detalle obtenido de la

simulación mostrada a continuación podemos observar que la zona más crítica de la válvula es la parte frontal, cabe destacar que la imagen está realizada en plena explosión, por lo que parte de la deformación obtenida será elástica lo que significa que se reducirá cuando se termine la sobrepresión obtenida durante la posible explosión.



*Figura 100: Detalles de la deformación frontal obtenida*

Como conclusión final destacamos la validez de la válvula ante una posible explosión, obteniendo unos valores de tensión y deformación admisibles, esto hace que podamos transpolar los resultados obtenidos en la válvula DN500 ensayada y parametrizar la válvula antiexplosiones en conductos de otras dimensiones. A continuación se muestran las diferentes medidas de la válvula VEX a comercializar.



DN	L mm	B mm	H mm
150	438	356	338
200	488	402	388
250	538	456	438
300	588	506	488
315	588	506	488
355	658	556	538
400	708	602	588
450	788	652	638
500	838	702	688
550	888	752	738
600	938	802	788
630	958	822	808
710	988	852	888
800	1038	902	938
900	1088	952	1008

*Figura 101 Catálogo de válvulas antiexplosión comercializadas*





## ***ANEXOS:***

## Sonda de presión Wika s-10

Instrumentación de presión electrónica

### Transmisor de presión para aplicaciones generales Modelo S-10, ejecución estándar Modelo S-11, membrana aflorante

Hoja técnica WIKA PE 81.01



#### Aplicaciones

- Maquinaria
- Hidráulica / neumática
- Aplicaciones generales de la industria
- Industria alimentaria

#### Características

- Rangos de medición desde 0 ... 0,1 bar a 0 ... 1.000 bar
- Varios tipos de señalización habituales en la industria
- Conexión con conector o salida de cable
- Amplia gama desde almacén con entrega inmediata
- Resistente al vacío

#### Descripción

Este transmisor es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de instrumentación de presión industrial. Los modelos destacan por su alta precisión, su construcción robusta y compacta y su flexibilidad para su adaptación a variadas tareas de medición.

La gran variedad de conexiones mecánicas y eléctricas permite ofertar una amplia gama de variantes.

#### Construcción

Todas las piezas en contacto con el medio son de acero inoxidable y están soldados herméticamente. Por lo tanto este transmisor prescinde de sustancias de sellado que puedan limitar la selección del medio de medición. La caja robusta también es de acero inoxidable y ofrece una protección a partir de IP 65 (versiones especiales hasta IP 68).



Imagen izqu.: modelo S-10

Imagen centro: modelo S-11 de membrana aflorante

Imagen dcha.: modelo S-11 con dispositivo de refrigeración

Los instrumentos se alimentan con una fuente de tensión continua no estabilizada de 10 (14) ... 30 V y proporcionan los señales de salida habituales en la instrumentación.

El modelo S-11 con membrana aflorante es óptimo para la medida de medios viscosos o medios sucios que obstruyen la conexión a proceso de los transmisores convencionales. Los transmisores de membrana aflorante son disponibles en rangos desde 0 ... 0,1 bar hasta 0 ... 600 bar. La utilización de un dispositivo de refrigeración permite la medición de medios con temperaturas hasta 150 °C.

Para los rangos de medida desde 0 ... 0,25 bar hasta 0 ... 1.000 bar disponemos de transmisores para aplicaciones de oxígeno (comprobación de seguridad por parte de la BAM, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung).

Hoja técnica WIKA PE 81.01 · 07/2009

Página 1 de 4

Hojas técnicas de instrumentos similares:  
Transmisor Ex-Druckmessformer; modelo IS-2X; véase hoja técnica PE 81.50  
Transmisor de presión para bajas presiones; modelo SL-1; véase hoja técnica PE 81.36  
Transmisor de presión para altas presiones; modelo HP-1; véase hoja técnica PE 81.29



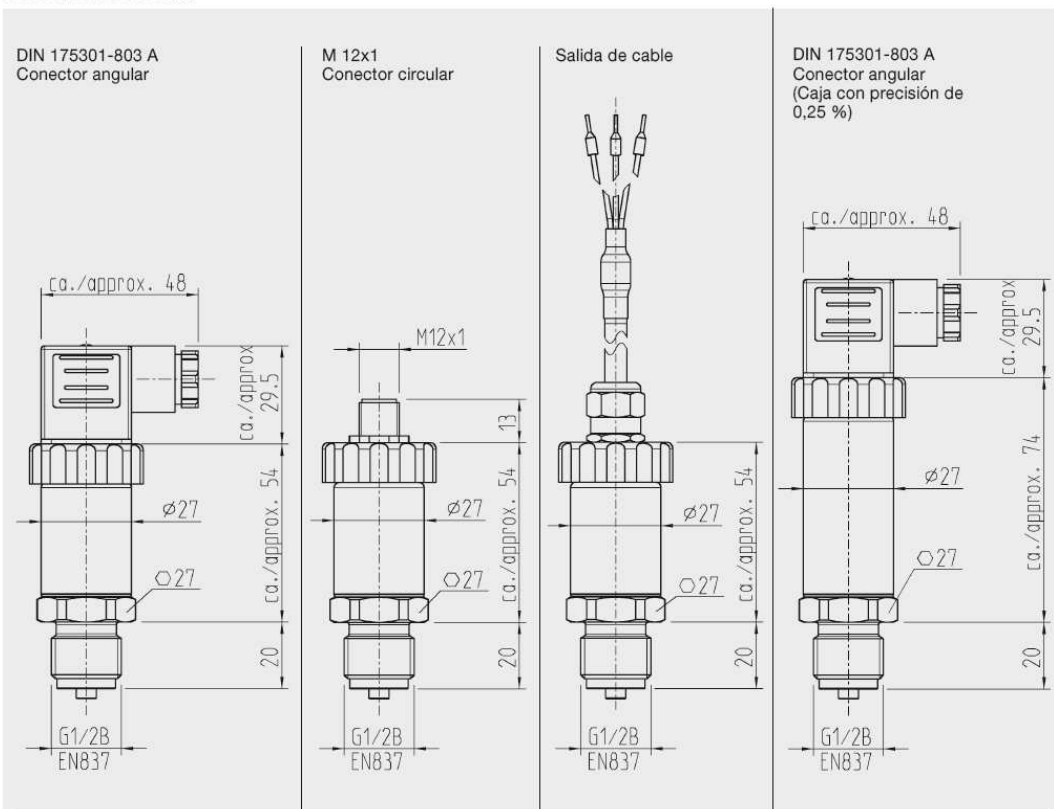
Datos técnicos		Modelo S-10 / S-11										
Rango de medición <sup>1)</sup>	bar	0,1	0,16	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10
Límite de sobrecarga	bar	1	1,5	2	2	4	5	10	10	17	35	35
Presión de rotura	bar	2	2	2,4	2,4	4,8	6	12	12	20,5	42	42
Rango de medida <sup>1)</sup>	bar	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000 <sup>1)</sup>	
Límite de sobrecarga	bar	80	50	80	120	200	320	500	800	1200	1500	
Presión de rotura	bar	96	96	400	550	800	1000	1200	1700 <sup>2)</sup>	2400 <sup>2)</sup>	3000	
{Vacío, Presión relativa, +/- , así como presión absoluta disponible}												
<sup>1)</sup> Solo válido para modelo S-10.												
<sup>2)</sup> Modelo Typ S-11: El valor indicado en la tabla es válido únicamente para ejecuciones con sellado mediante anillo de estanqueidad debajo del hexágono. En otros casos máx 1.500 bar.												
Material												
■ Material en contacto con el medio		Acero inoxidable										
» modelo S-10 <sup>1)</sup>		Acero inoxidable										
» modelo S-11		Acero inoxidable Junta tórica: NBR <sup>3)</sup> {FPM/FKM}										
■ Caja		Acero inoxidable										
■ Líquido interno de transmisión <sup>4)</sup>		Aceite sintético {Halocarbono para aplicaciones de oxígeno}										
<sup>3)</sup> Junta tórica en FPM/FKM, modelo S-11 con dispositivo de refrigeración												
<sup>4)</sup> No disponible en modelo S-10 para rangos de medición > 25 bar.												
Energía auxiliar U+	U+ en VDC	10 ... 30 (14 ... 30 con salida 0 ... 10 V)										
Señal de salida y carga máx RA	RA en Ohm	4 ... 20 mA, 2-hilos RA ≤ (U+ - 10 V) / 0,02 A										
		0 ... 20 mA, 3-hilos RA ≤ (U+ - 3 V) / 0,02 A										
		0 ... 5 V, 3- hilos RA > 5 k										
		0 ... 10 V, 3- hilos RA > 10 k										
		{Otras señales a consultar}										
Ajuste punto cero/span	%	± 5 mediante potenciómetro en el instrumento										
Tiempo de respuesta (10 ... 90 %)	ms	≤ 1 (≤ 10 ms con temperatura del medio < -30 °C para rangos hasta 25 bar ó con membrana aflorante)										
Tensión de aislamiento	VDC	500 <sup>5)</sup>										
<sup>5)</sup> NEC Class 02 alimentación (tensión baja y corriente baja máx. 100 VA también en estado de error)												
Precisión <sup>6)</sup>	% del span	≤ 0,5 {0,25} <sup>7)</sup>										
<sup>6)</sup> Incluye no - linealidad, histéresis, desviación del punto cero y del valor final (corresponde a desviación de medición según IEC 61298-2)												
Calibrado en posición vertical												
<sup>7)</sup> Precisión { } para rangos de medida ≥ 0,25 bar												
No - linealidad	% del span	≤ 0,2 (BFSL) según IEC 61298-2										
No - repetibilidad	% del span	≤ 0,1										
Estabilidad / año	% del span	≤ 0,2 (en condiciones de referencia)										
Rangos de temperatura admisibles												
■ Medio <sup>8)</sup> <sup>1)</sup>	°C	-30 ... +100 {-40 ... +125} Typ S-11 con dispositivo de refrigeración: -20 ... +150										
■ Ambiente <sup>8)</sup>	°C	-20 ... +80 Typ S-11 con dispositivo de refrigeración: -20 ... +80										
■ Almacén <sup>8)</sup>	°C	-40 ... +100 Typ S-11 con dispositivo de refrigeración: -20 ... +100										
<sup>8)</sup> Cumple también EN 50178, Tab. 7, operativa (C) 4K4H, almacén (D) 1K4, transporte (E) 2K3												
Temperatura nominal	°C	0 ... +80										
Coeficiente de temperatura en rango de temperatura nominal												
■ CT promedio del punto cero	% del span	≤ 0,2 / 10 K (< 0,4 para rangos de medición ≤ 0,25 bar)										
■ CT promedio del span	% del span	≤ 0,2 / 10 K										
Conformidad CE												
■ Normativa de instrumentos de presión		97/23/EG										
■ Normativa EMC		2004/108/EG, EN 61326 Emisión (grupo 1, clase B) y resistencia a perturbaciones (ámbito industrial)										
Resistencia a choques	g	1000 según IEC 60068-2-27 (impacto mecánico)										
Resistencia a vibraciones	g	20 según IEC 60068-2-6 (Vibraciones con resonancia)										
Protecciones eléctricas												
■ Sobretenión	VDC	36										
■ Cortocircuito		S+ contra U-										
■ Polaridad inversa		U+ contra U-										

## Datos técnicos Modelo S-10 / S-11

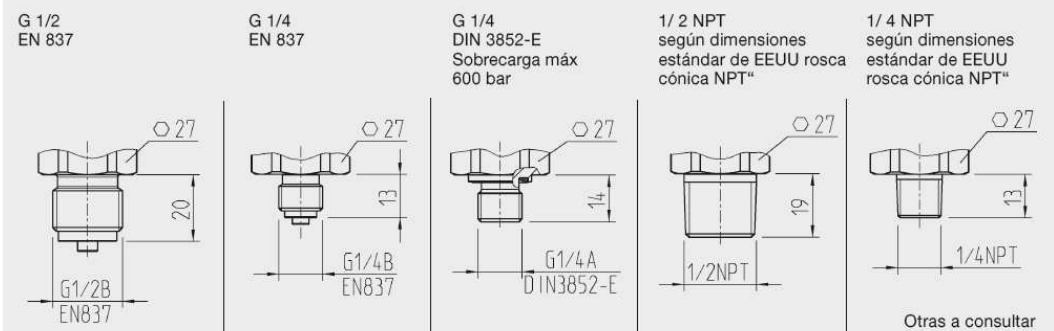
Peso	kg	Aprox. 0,2
		Aprox. 0,3 con opción de precisión 0,25% del span (Caja más larga)

\*) Una ejecución del S-11 para oxígeno no es disponible. El S-10 para oxígeno es disponible con un rango superior de 0,25 bar, temperatura del medio entre -20 ... +60 °C y partes en contacto con el medio en acero inoxidable 6 2.4711.  
 {} Indicaciones en llaves indican ejecuciones con suplemento de precio.

### Dimensiones en mm



### Conexiones del S-10



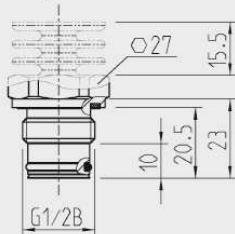
Instrucciones de montaje y de seguridad en el manual de este producto.

Informaciones sobre taladros y conexiones para soldar encuentra en la información técnica IN 00.14 en [www.wika.es](http://www.wika.es) - descargas

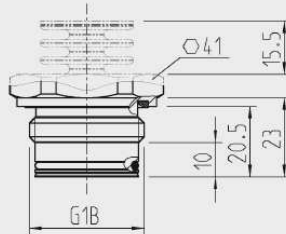
### Dimensiones en mm

#### Conexiones a proceso S-11, membrana aflorante

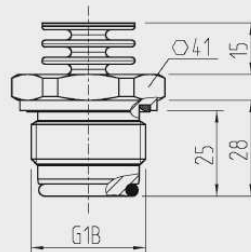
G 1/2 B  
sin/con dispositivo de refrigeración  
0 ... 2,5 a 0 ... 600 bar  
Sobrecarga máx 600 bar



G 1B  
con/sin dispositivo de refrigeración  
0 ... 0,1 a 0 ... 1,6 bar



G 1B  
según EHEDG \*\*) con dispositivo de refrigeración  
hasta 150 °C hasta 25 bar





Otras a consultar

Instrucciones de montaje y de seguridad en el manual de este producto.

Informaciones sobre taladros y conexiones para soldar encuentra en la información técnica IN 00.14 en [www.wika.es](http://www.wika.es) - descargas

\*\*) European Hygienic Equipment Design Group

### Conexiones eléctricas

	Conector angular DIN 175301-803 A	Conector circular M12x1, 4-pin	Salida de cable de longitud 1,5 m
			
2-hilos	U+ = 1 U- = 2	U+ = 1 U- = 3	U+ = braun U- = grün
3-hilos	U+ = 1 U- = 2 S+ = 3	U+ = 1 U- = 3 S+ = 4	U+ = braun U- = grün S+ = weiß
Pantalla de cable			gris
Sección de hilo	hasta máx. 1,5 mm²	-	0,5 mm² (AWG 20)
Diámetro del cable	6-8 mm (Homologación naval: 10 a 14 mm)	-	6,8 mm
Protección seg. IEC 60 529	IP 65	IP 67	IP 67 oder IP 68
Las protecciones indicadas están válidas únicamente en estado de conexión con conectores dotados de la protección correspondiente.			

### Accesorios

	Código	S-11
	11 92 299	G 1/2 con adaptador para soldar
	11 92 264	G 1 Adaptador par soldar

Nos reservamos el derecho de modificar e intercambiar materiales  
Los datos técnicos descritos en este documento corresponden al estado actual de la técnica



# Sensor inductivo

efector100



Detectores inductivos

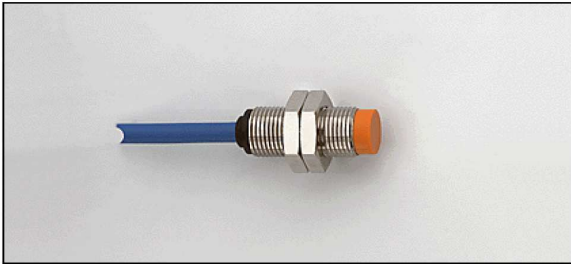
NAMUR EN 60947-5-6

## NF5008

IFA2004-N/6m/1D/2G  
Detector inductivo  
Rosca metálica M12 x 1  
Conexión por cable

Homologación ATEX  
Grupo II, categoría 1D  
Grupo II, categoría 1G/2G

Alcance 4mm [nb]  
no enrasable

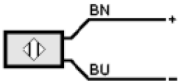


Made in Germany

Alimentación	Conexión a circuitos de corriente con seguridad intrínseca y homologados con los siguientes valores máximos: U = 15V / I = 50mA / P = 120mW normalmente cerrado	
Función de salida		
Tensión nominal [V]	8,2 DC (1kΩ)	
Tensión de alimentación [V]	7,5...30 DC en caso de utilización fuera de la zona explosiva	
Corriente de salida [mA]	< 30 en caso de utilización fuera de la zona explosiva	
Consumo [mA]	< 1 *)	
Capacidad propia [nF]	< 141	
Inductancia propia [μH]	< 134	
Alcance real [mm]	4 ± 10 %	
Deriva del punto de conmutación [% del Sr]	-10...10	
Histéresis [% del Sr]	1...15	
Frecuencia de conmutación [Hz]	1500	
Factores de corrección	acero = 1 / inox aprox. 0,7 / latón aprox. 0,5 / aluminio aprox. 0,4 / cobre aprox. 0,3	
Temperatura ambiente [°C]	-20...80	
Grado/clase de protección	IP 67, III	
Resistencia a golpes / vibraciones	30g (11 ms) / 10-55 Hz (1 mm)	
CEM	EN 60947-5-6	
Homologaciones	PTB 01 ATEX 2191 BVS 04 ATEX E153 TIIS TC16107	
Marcado del aparato	II 1D Ex iaD 20 T 90°C Ta: -20...70°C II 1D Ex iaD 20 T 100°C Ta: -20...80°C II 1G Ex ia IIC T6 Ta: -20...55°C II 1G Ex ia IIC T5 Ta: -20...65°C II 2G Ex ia IIC T6 Ta: -20...70°C II 2G Ex ia IIC T5 Ta: -20...80°C	
Materiales de la carcasa	latón especial; cara activa: PC	
Conexionado	cable PVC / 6 m; 2 x 0,34 mm²	
Peso [kg]	0,25	
Notas	*) estado bloqueado; (> 2,1 mA estado en conducción)	
Accesorios (incluidos)	2 tuercas de fijación	

### Conexionado

Colores de los hilos  
BNmarrón  
BUazul



## ***Presupuesto***

El presupuesto se ha realizado en base a los 6 meses de duración del proyecto.

- |  |        |
|--|--------|
| • Hardware   | 1.000€ |
| • SolidWorks y COSMOSWorks                           | 2.500€ |
| • Material de oficina                                | 100€   |
| • Material de fabricación de la válvula de retención | 1.500€ |
| • Mano de Obra:                                      |        |
| ➤ Modelado (70 horas)                                | 2.800€ |
| ➤ Simulación (60 horas)                              | 2.400€ |
| ➤ Fabricación de la válvula (30 horas)               | 1.000€ |
| ➤ Ensayo experimental (100 horas)                    | 3.000€ |

TOTAL 14.300 €



## ***Bibliografía***

1. <http://atex.puncernau.net>
2. [http://www.mc\\_mutual.com/webpublica/Publicaciones/McSalud Laboral/resources/12/atex.pdf](http://www.mc_mutual.com/webpublica/Publicaciones/McSaludLaboral/resources/12/atex.pdf)
3. <http://tbelectronic.eu/2/home/>
4. *Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke, Diseño en ingeniería mecánica, Ed. McGraw-Hill, Quinta edición (Cuarta en español) 1998.*
5. *Francisco Alonso Valle, NTP 396: Deflagraciones producidas por gases, vapores y polvos combustibles: sistemas de protección.*
6. *National Instruments, Getting Started with DASyLab. Septiembre 2005.*
7. <http://es.wikipedia.org>
8. <http://www.cosmosm.com>
9. <http://www.solidworks.es/>
10. *Guía Aplicación ATEX en el sector de la alimentación animal, Cesfac.*